

Kajian Geologi dan Stratigrafi Daerah Kwandang, Kabupaten Gorontalo Utara

Rahmat Zunaedi G. Maigo¹, Sri Maryati^{2*}, Noviar Akase¹

¹ Program Studi Teknik Geologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Gorontalo

² Program Studi Pendidikan Geografi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Gorontalo

*e-mail: sri.maryati@ung.ac.id

Abstract

The availability of geological data remains a concern for the Kwandang area, where such information is needed to support land-use decisions and disaster risk reduction. Administratively, the area falls within North Gorontalo Regency, Gorontalo Province, and occupies part of Sulawesi Island's northern peninsula, within the Southern Mountain Zone. This study describes the geomorphology, stratigraphy, and geological structures of the area using surface geological mapping, macroscopic description of outcrops and hand specimens, and spatial analysis of DEMNAS data in ArcGIS 10.8. Four landform units were identified, dominated by denudational hills and alluvial plains, with elevations of 0 to 900 m. The stratigraphic sequence from oldest to youngest comprises diorite, andesite, agglomerate, tuff, and alluvial deposits. Two northwest-southeast trending fault zones cut the central to southern parts of the area. These results provide a geological baseline for Kwandang and a foundation for further hazard and spatial studies.

Keywords: Geomorphology; Stratigraphy; Geological mapping; Kwandang; North Gorontalo; Geological Structure

Abstrak

Ketersediaan informasi geologi masih menjadi perhatian di kawasan Kwandang, mengingat data tersebut diperlukan dalam mendukung penetapan pemanfaatan ruang dan upaya pengurangan risiko bencana. Secara administratif, kawasan ini termasuk wilayah Kabupaten Gorontalo Utara, Provinsi Gorontalo, serta terletak di bagian lengan utara Pulau Sulawesi yang mencakup Zona Pegunungan Selatan. Kajian di Kwandang, Gorontalo Utara, mencakup penelaahan aspek Geomorfologi, Stratigrafi, dan Struktur geologi dengan menerapkan Pemetaan geologi permukaan, pemerian singkapan serta sampel batuan secara makroskopis, dan interpretasi data Digital Elevation Model Nasional (DEMNAS) melalui ArcGIS 10.8. Interpretasi bentang alam menghasilkan empat unit bentuklahan, dengan kawasan perbukitan denudasional dan dataran aluvial sebagai unsur utama penyusun wilayah. Elevasi daerah kajian berada pada kisaran 0 hingga 900 meter. Dari perspektif Stratigrafi, urutan pembentukan material geologi dari umur tertua ke termuda mencakup diorit, andesit, aglomerat, tuf, kemudian endapan aluvial. Dua jalur sesar berarah baratlaut-tenggara memotong bagian tengah hingga selatan daerah penelitian. Hasil ini memberikan data dasar geologi bagi Kecamatan Kwandang dan dapat menjadi acuan bagi kajian kebencanaan serta penataan ruang lebih lanjut.

Kata kunci: Geomorfologi; Stratigrafi; Pemetaan geologi; Kwandang; Gorontalo Utara; Struktur geologi

1. PENDAHULUAN

Pertemuan antarlempeng berskala regional menjadi salah satu karakter utama tatanan tektonik Indonesia, khususnya akibat interaksi tiga lempeng tektonik besar, yakni Pasifik, Indo-Australia, serta Eurasia (Hall, 2012). Interaksi ketiga lempeng tersebut membentuk tatanan geologi Sulawesi yang beragam dan rumit, mulai dari kompleks metamorf dan magmatik hingga busur vulkanik dan ofiolit (Advokaat dkk., 2017; Hall & Spakman, 2015). Lengan Utara Sulawesi merupakan bagian dari busur vulkanik yang tumbuh di atas batuan dasar samudra dan terus dibentuk oleh deformasi serta ekstensi sepanjang Neogen (Advokaat dkk., 2017; Hall & Wilson, 2000).

Secara fisiografis, wilayah Gorontalo mencakup sejumlah zona bentang alam di bagian utara Pulau Sulawesi, termasuk kawasan Pegunungan Selatan (Harun dkk., 2022). Kecamatan Kwandang merupakan ibu kota Kabupaten Gorontalo Utara yang dapat dicapai melalui jalur darat sekitar 60 km ke arah utara dari Kota Gorontalo (BPS Kabupaten Gorontalo Utara, 2023). Walaupun wilayah ini memiliki karakteristik geologi dan bentang alam yang beragam, kajian geologi yang rinci di Kecamatan Kwandang masih relatif terbatas. Kajian geomorfologi di sebagian wilayah Kecamatan Kwandang telah

dilaporkan (Harun dkk., 2022), tetapi informasi stratigrafi dan struktur geologi untuk daerah Kwandang secara utuh belum banyak tersedia.

Informasi geologi dan geomorfologi penting sebagai dasar pemahaman kondisi lingkungan, pengelolaan sumber daya, serta perencanaan tata ruang wilayah. Gorontalo termasuk wilayah yang rawan bencana geologi, sehingga data kebencanaan yang akurat sangat dibutuhkan (Manyoe dkk., 2019). Ketahanan masyarakat terhadap bencana juga sangat bergantung pada ketersediaan data dasar yang dapat diterjemahkan ke dalam kebijakan lokal (Koem dkk., 2021).

Stratigrafi regional daerah ini mengacu pada Peta Geologi Lembar Tilamuta (Bachri dkk., 1993; Apandi & Bachri, 1997). Analisis geomorfologi mengacu pada klasifikasi Van Zuidam (1985), yang menekankan keterkaitan antara morfografi, morfometri, dan morfogenesis suatu satuan bentuklahan. Geomorfologi sendiri dipahami sebagai ilmu yang mengkaji bentuk permukaan bumi beserta proses pembentukannya (Thornbury, 1969).

Penelitian ini bertujuan untuk (1) mendeskripsikan satuan geomorfologi, (2) menyusun stratigrafi dan karakter litologi satuan batuan, serta (3) mengidentifikasi struktur geologi yang berpengaruh terhadap bentang alam di daerah Kwandang yang masuk wilayah administratif Kabupaten Gorontalo Utara.

2. METODE

Kajian ini menerapkan metode pemetaan geologi permukaan dengan dukungan pemeriksaan sampel serta pengkajian informasi keruangan. Rangkaian kegiatan penelitian mencakup penelusuran awal, akuisisi informasi di lapangan, pemrosesan data, interpretasi temuan, hingga penyajian keseluruhan temuan secara tertulis.

Pengamatan lapangan dilakukan pada setiap stasiun dengan penentuan titik koordinat menggunakan GPS dan orientasi arah menggunakan kompas geologi. Lokasi administratif, tanggal, nomor stasiun, dan kondisi cuaca dicatat sesuai prosedur standar operasional. Setiap singkapan dideskripsikan secara makroskopis meliputi warna, tekstur, struktur, ukuran butir, komposisi mineral, porositas, permeabilitas, dan tingkat kekompakan dengan bantuan loupe dan komparator. Sampel batuan diambil dengan palu geologi untuk analisis makroskopis dan uji laboratorium. Batuan beku ekstrusif diklasifikasikan mengacu pada Streckeisen (1979).

Data geomorfologi diperoleh dari pengamatan langsung dan pengolahan data Digital Elevation Model Nasional (DEMNAS) yang diperoleh dari portal institusi Badan Informasi Geospasial. Analisis dilakukan terhadap aspek morfografi (ketinggian absolut), morfometri (kemiringan dan bentuk lereng), serta morfogenesis (morfostruktur pasif/litologi, morfostruktur aktif, dan morfohidrodinamik) berdasarkan Van Zuidam (1985) dan Verstappen (1985). Pola pengaliran sungai diklasifikasikan menurut Howard (1967). Analisis kelurusan topografi dan pola aliran sungai digunakan untuk menafsirkan zona struktur dengan mengacu pada peta geologi regional (Apandi & Bachri, 1997).

Pemrosesan keseluruhan data keruangan memanfaatkan perangkat lunak ArcGIS 10.8 guna menyusun peta lokasi, peta geologi, peta morfografi, peta kemiringan lereng, dan peta geomorfologi.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakter bentang alam pada lokasi kajian memperlihatkan variasi relief dari dataran rendah hingga kawasan berbukit, dengan rentang elevasi antara 0 sampai 900 meter relatif terhadap muka laut. Ditinjau dari aspek morfografi, kawasan perbukitan menempati porsi terbesar, yakni sekitar 114 km atau setara 65% dari keseluruhan area seluas 174,8 km², sedangkan satuan dataran menempati sisanya, yaitu sekitar 61 km² (sekitar 35%). Dataran umumnya menempati bagian barat laut hingga barat, termasuk area di sekitar pusat Kecamatan Kwandang dan jalur pesisir, sedangkan perbukitan mendominasi bagian tengah, timur, dan selatan.

Daerah penelitian terbagi menjadi empat satuan bentuklahan (Tabel 1). Wilayah pesisir tersebut dicirikan oleh bentang lahan yang relatif rata, dengan nilai kemiringan lereng berkisar antara 0 sampai 2%. dan elevasi mendekati muka air laut. Satuan ini terbentuk oleh aggradasi material pasir dan lanau yang disortasi oleh energi gelombang. Dataran fluvial memiliki kemiringan lereng 0–3% dan pola

pengaliran dendritik hingga meandering, berkembang di sepanjang lembah dan dataran banjir sungai utama. Perbukitan denudasional memiliki kemiringan lereng 15–40% dengan bentuk membulat hingga bergelombang akibat pelapukan dan erosi yang berlangsung lama. Perbukitan vulkanik memiliki kemiringan lereng lebih dari 40% dengan relief kasar, tersusun oleh produk gunungapi, dan menempati elevasi tertinggi hingga sekitar 900 mdpl.

Tabel 1. Satuan bentuklahan daerah penelitian

Satuan	Kemiringan lereng	Morfogenesis dan ciri utama
Dataran pantai	0–2%	Agradasi material pasir dan lanau oleh gelombang dan aliran sungai; lepas dan memiliki air tanah dangkal
Dataran fluvial	0–3%	Hasil erosi, transportasi, dan pengendapan sungai pada lembah dan dataran banjir; pola pengaliran dendritik hingga meandering
Perbukitan denudasional	15–40%	Hasil pelapukan dan erosi intensif pada batuan asal; bentuk membulat hingga bergelombang; pola pengaliran lebih rapat
Perbukitan vulkanik	>40%	Hasil aktivitas gunungapi (aliran lava, jatuhnya, dan aliran piroklastik); relief kasar; pola pengaliran radial hingga subdendritik

Analisis kemiringan lereng memperlihatkan jika kelas curam hingga sangat curam (30–140%) mendominasi sekitar 49,5% luas daerah penelitian, diikuti kelas miring hingga agak curam (7–30%) sekitar 36,6%, dan kelas datar hingga landai (0–7%) sekitar 13,9% (Tabel 2). Kelas terjal (>140%) hanya dijumpai pada luasan yang sangat kecil dan tidak signifikan secara spasial. Kelas curam hingga sangat curam tersebar di bagian tengah hingga timur, kelas miring hingga agak curam membentuk zona transisi di kaki perbukitan, sedangkan kelas datar hingga landai terkonsentrasi di barat laut, berimpit dengan satuan dataran.

Tabel 2. Distribusi kelas kemiringan lereng daerah penelitian

Kelas kemiringan lereng	Persentase luas
Datar–landai (0–7%)	13,87%
Miring–agak curam (7–30%)	36,59%
Curam–sangat curam (30–140%)	49,54%
Terjal (>140%)	0,002%

Mengacu pada Peta Geologi Regional Lembar Tilamuta berskala 1:250.000 yang disusun Bachri dkk. (1993), susunan stratigrafi pada lokasi kajian mencakup lima unit batuan yang penamaannya belum ditetapkan secara resmi. Kelompok batuan pada wilayah kajian terhimpun ke dalam empat formasi, yakni Diorit Bone, Batuan Gunungapi Bilungala, Breksi Wobudu, dan Aluvium dengan rentang umur dari Miosen hingga Holosen. Kronologi pembentukan batuan dari periode paling awal hingga paling akhir meliputi diorit, andesit, aglomerat, tuf, kemudian diakhiri oleh endapan aluvial (Tabel 3).

Umur		Formasi	Stratigrafi Lokasi Penelitian	
Zaman	Kala		Simbol	Satuan
Kuartar	Holosen	Aluvium Qal		Endapan Aluvial
	Pliosen			
	Pliosen	Breksi Wobudu Tpwv		Tuf
	Pliosen			
Tersier	Akhir	Batuan Gunungapi Bilungala Tmbv		Aglomerat
	Tengah			
	Awal	Diorit Bone Tmb		Diorit

Tabel 3. Kolom stratigrafi daerah penelitian

Satuan diorit merupakan satuan tertua dan tersingkap setempat berupa dua bongkah kecil di bagian selatan pusat Kecamatan Kwandang (Gambar 1). Batuan ini bersifat intrusif, bertekstur faneritik-holokristalin, dan tersusun oleh plagioklas dan hornblenda dengan sedikit kuarsa. Satuan ini diinterpretasikan sebagai tubuh intrusi yang menerobos batuan lebih tua dan berperan sebagai batuan dasar yang turut mengontrol morfologi perbukitan pada sebagian daerah penelitian.



Gambar 1. Singkapan batuan dan lokasi pengambilan sampel diorit

Satuan andesit menindih diorit, tergolong batuan beku luar yang terbentuk akibat proses pendinginan dan pematatan lava pada permukaan bumi (Gambar 2). Batuan ini bertekstur porfiritik dengan fenokris plagioklas dan piroksen atau hornblenda dalam massa dasar afanitik. Tekstur porfiritik semacam ini juga dilaporkan pada batuan dasit di wilayah Bone Bolango (Nurahmah dkk., 2022). Beberapa singkapan memperlihatkan struktur aliran serta kekar kolom maupun kekar berlembar. Satuan ini menutupi hampir keseluruhan bagian tengah, timur, dan selatan daerah penelitian, atau sekitar 78% luas daerah penelitian.



Gambar 2. Singkapan batuan dan lokasi pengambilan sampel andesit

Satuan aglomerat tersusun oleh fragmen batuan vulkanik berukuran bongkah hingga kerakal yang membulat hingga membulat, tertanam dalam matriks abu vulkanik (Gambar 3). Bentuk fragmen yang membulat mengindikasikan material yang masih plastis atau semi-cair saat terlontar, kemudian mengalami pembundaran selama transportasi di sekitar pusat erupsi. Satuan ini menindih andesit dengan kontak erosional dan memperlihatkan jika daerah penelitian pernah berada relatif dekat dengan pusat erupsi gunungapi purba.



Gambar 3. Singkapan batuan dan lokasi pengambilan sampel aglomerat

Satuan tuf merupakan bagian dari Formasi Breksi Wobudu yang berumur Pliosen dan menindih secara tidak selaras di atas satuan aglomerat (Gambar 4). Tuf berbutir halus, telah terlitifikasi, berwarna putih kekuningan hingga krem, dengan sortasi baik hingga sedang, serta memperlihatkan perlapisan yang mencerminkan pengendapan jatuhnya piroklastik atau aliran piroklastik berenergi rendah.



Gambar 4. Singkapan batuan dan lokasi pengambilan sampel tuf

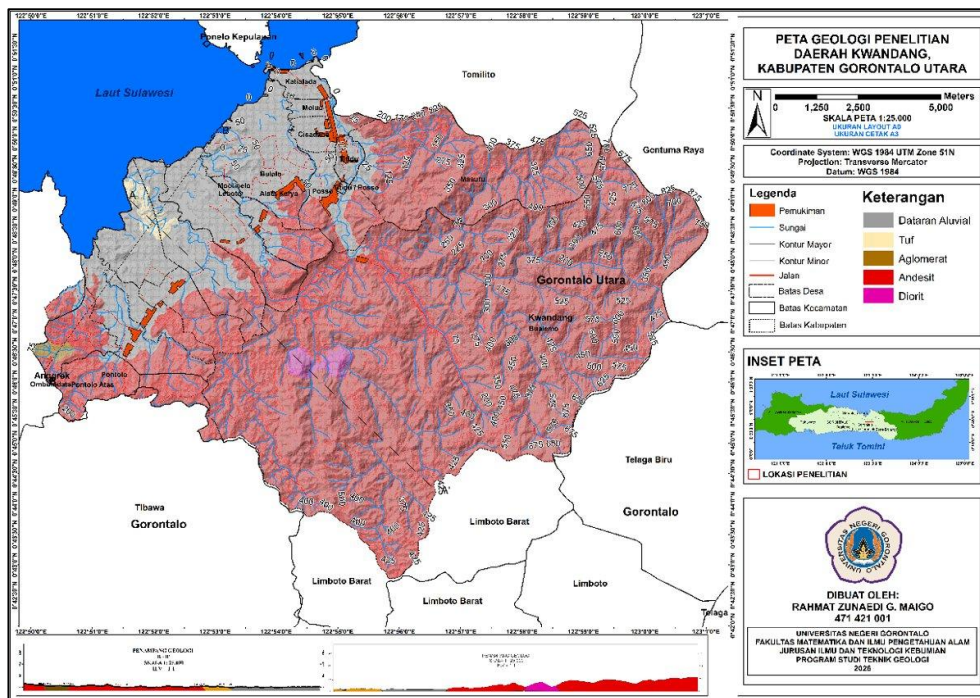
Endapan aluvial merupakan satuan termuda (Holosen) dengan komposisi sedimen lepas berupa fragmen batuan berukuran kasar hingga halus, mulai dari kerikil sampai material berbutir sangat halus seperti lempung yang berasal dari rombakan batuan yang lebih tua (Gambar 5). Endapan ini diendapkan

oleh proses fluvial dan marin, dan umumnya menempati dataran fluvial serta dataran pantai. Karena belum mengalami litifikasi yang sempurna, endapan aluvial bersifat lunak dan memiliki daya dukung tanah yang relatif rendah.



Gambar 5. Endapan aluvial daerah penelitian

Peta geologi daerah penelitian ditampilkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Peta geologi daerah penelitian

Analisis kelurusan topografi, pola aliran sungai, dan interpretasi peta geologi regional memperlihatkan dua jalur sesar berarah baratlaut–tenggara yang memotong bagian tengah hingga selatan daerah penelitian. Kedua jalur tersebut relatif sejajar dan berimpit dengan satuan perbukitan zona sesar serta lereng yang curam. Satuan ini menempati luasan sekitar 8 km² (sekitar 4,6%) dari total daerah penelitian, namun keberadaannya penting sebagai indikator struktur aktif. Pola ini sejalan dengan kompleksitas tektonik Sulawesi bagian utara, termasuk fase ekstensi Neogen yang tercatat di Lengan Utara (Advokaat dkk., 2017; Pezzati dkk., 2014b). Pola kelurusan semacam ini juga banyak ditafsirkan

sebagai pengaruh struktur terhadap morfologi di Gorontalo (Bachri, 2011; Harun dkk., 2022). Karena identifikasi struktur pada penelitian ini sebagian besar bersifat tidak langsung, verifikasi lapangan yang lebih detail diperlukan untuk memastikan posisi dan karakter sesar.

Hubungan antara litologi dan bentuk lahan terlihat jelas di daerah penelitian. Perbukitan denudasional dan perbukitan vulkanik umumnya terbentuk dari material penyusun andesit, aglomerat, dan tuf yang telah terdegradasi akibat proses eksogen. Sebaliknya, dataran pantai dan dataran fluvial tersusun oleh endapan aluvial yang lepas dan belum terkonsolidasi. Perbedaan antara batuan relatif kompak pada perbukitan dan material lepas pada dataran menjadi faktor utama yang membedakan bentuk permukaan bumi di daerah ini, selain proses denudasi dan sedimentasi yang berlangsung kemudian.

Pola pengaliran sungai mendukung interpretasi tersebut. Pola dendritik hingga meandering pada dataran fluvial memperlihatkan lingkungan pengendapan sungai yang sudah dewasa, sedangkan pola pengaliran yang lebih rapat pada perbukitan denudasional mencerminkan batuan yang lebih mudah tererosi. Klasifikasi pola aliran menurut Howard (1967) membantu membedakan kontrol litologi dan struktur pada setiap satuan.

Urutan stratigrafi dari Miosen hingga Holosen mencerminkan evolusi geologi daerah ini, yaitu intrusi diorit, diikuti aktivitas vulkanik andesit dan aglomerat, periode pengikisan, pengendapan tuf Pliosen, dan akhirnya pengendapan aluvial Holosen. Ketidakselarasan antara tuf dan aluvial, serta tidak terekamnya endapan Plistosen, memperlihatkan jika periode denudasi berlangsung cukup lama. Urutan satuan yang diperoleh sejalan dengan susunan formasi pada peta regional (Apandi & Bachri, 1997). Perlu dicatat jika umur satuan ditentukan berdasarkan korelasi regional dan hubungan stratigrafi, belum melalui penanggalan absolut.

Hasil penelitian ini memberikan dasar informasi geologi dan geomorfologi yang dapat dimanfaatkan dalam perencanaan tata ruang Kecamatan Kwandang, terutama pada area dataran aluvial yang tersusun oleh material lepas. Penelitian ini juga memiliki beberapa keterbatasan. Pertama, sebagian batas satuan masih bersifat interpretatif karena bergantung pada sebaran singkapan dan data sekunder. Kedua, resolusi DEMNAS terbatas untuk identifikasi struktur berskala kecil. Ketiga, penentuan umur belum didukung penanggalan radiometrik. Penelitian lanjutan dengan analisis petrografi, data geofisika, dan penanggalan absolut akan memperkuat hasil ini.

4. KESIMPULAN

Temuan kajian dirangkum ke dalam beberapa poin, meliputi:

- a. Wilayah kajian mencakup empat kelompok bentang lahan, yakni kawasan pesisir, dataran hasil aktivitas sungai, perbukitan akibat proses denudasi, serta perbukitan vulkanik. Perbukitan mendominasi sekitar 65% luas wilayah, dengan kelas kemiringan lereng curam hingga sangat curam sebagai kelas yang paling luas.
- b. Urutan umur batuan pada wilayah kajian, dimulai dari formasi yang terbentuk lebih awal, mencakup diorit dari Miosen Awal hingga Miosen Tengah, disusul oleh andesit yang terbentuk pada Miosen Tengah, aglomerat (Miosen Akhir), tuf (Pliosen), dan endapan aluvial (Holosen).
- c. Struktur geologi berupa dua jalur sesar berarah barat laut–tenggara yang memotong zona tengah sampai selatan wilayah kajian dan berimpit dengan unit perbukitan zona sesar.
- d. Batuan vulkanik membentuk perbukitan, sedangkan endapan aluvial membentuk dataran. Hasil ini menjadi dasar bagi kajian kebencanaan dan penataan ruang lebih lanjut di Kecamatan Kwandang.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Gorontalo serta semua pihak yang membantu pelaksanaan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Advokaat, E. L., Hall, R., White, L. T., Watkinson, I. M., Rudyawan, A., & BouDagher-Fadel, M. K. (2017). Miocene to recent extension in NW Sulawesi, Indonesia. *Journal of Asian Earth Sciences*, 147, 378–401. <https://doi.org/10.1016/j.jseas.2017.07.023>
- Apandi, T., & Bachri, S. (1997). *Peta geologi Lembar Tilamuta, Sulawesi, skala 1:250.000*. Bandung: Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
- Bachri, S. (2011). Structural pattern and stress system evolution during Neogene–Pleistocene times in the central part of the North Arm of Sulawesi. *Jurnal Geologi dan Sumberdaya Mineral*, 21(3), 127–135.
- Bachri, S., Sukindo, & Ratman, N. (1993). *Peta geologi Lembar Tilamuta, Sulawesi, skala 1:250.000*. Bandung: Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
- Badan Pusat Statistik Kabupaten Gorontalo Utara. (2023). *Kabupaten Gorontalo Utara dalam angka*. Gorontalo Utara: BPS Kabupaten Gorontalo Utara.
- Hall, R. (2012). Late Jurassic–Cenozoic reconstructions of the Indonesian region and the Indian Ocean. *Tectonophysics*, 570–571, 1–41. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2012.04.021>
- Hall, R., & Spakman, W. (2015). Mantle structure and tectonic history of SE Asia. *Tectonophysics*, 658, 14–45. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2015.07.003>
- Hall, R., & Wilson, M. E. J. (2000). Neogene sutures in eastern Indonesia. *Journal of Asian Earth Sciences*, 18(6), 781–808.
- Harun, B., Arifin, Y. I., & Manyoe, I. N. (2022). Karakteristik geomorfologi daerah Poso Kabupaten Gorontalo Utara dan sekitarnya. *Jambura Geoscience Review*, 4(2), 145–157. <https://doi.org/10.34312/jgeosrev.v4i2.12712>
- Howard, A. D. (1967). Drainage analysis in geologic interpretation: A summation. *AAPG Bulletin*, 51(11), 2246–2259. <https://doi.org/10.1306/5D25C26D-16C1-11D7-8645000102C1865D>
- Koem, S., Lahay, R. J., Nasib, S. K., & Ismail, M. (2021). Best practice berbasis komunitas dalam mewujudkan ketahanan masyarakat terhadap bencana. *Dinamisia: Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*, 5(5), 1255–1263. <https://doi.org/10.31849/DINAMISIA.V5I5.7259>
- Manyoe, I. N., Arif, S., & Lahay, R. J. (2019). Earthquake damage level of Gorontalo area based on seismicity and peak ground acceleration. *Jambura Geoscience Review*, 1(1), 7. <https://doi.org/10.34312/jgeosrev.v1i1.2018>
- Manyoe, I. N., Irfan, U. R., Suriamiharja, D. A., Eraku, S. S., Tolodo, D. D., & Napu, S. S. S. (2020). Geology and 2D modelling of magnetic data to evaluate surface and subsurface setting in Bongongoayu geothermal area, Gorontalo. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 589, 012002. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/589/1/012002>
- Nurahmah, S. C. C., Zainuri, A., & Kasim, M. (2022). Petrography characteristic of porphyritic dacite rock in Olele Village, Kabila Bone, and Bone Bolango. *Journal of Earth Energy Science, Engineering, and Technology*, 5(1).
- Pezzati, G., Hall, R., Burgess, P., & Perez-Gussinye, M. (2014b). The Poso Basin in Gorontalo Bay, Sulawesi: Extension related to core complex formation on land. *Proceedings, Indonesian Petroleum Association*. <https://doi.org/10.29118/ipa.0.14.g.297>
- Streckeisen, A. (1979). Classification and nomenclature of volcanic rocks, lamprophyres, carbonatites, and melilitic rocks. *Geology*, 7(7), 331–335.
- Thornbury, W. D. (1969). *Principles of geomorphology*. New York: John Wiley & Sons.
- Van Zuidam, R. A. (1985). *Aerial photo-interpretation in terrain analysis and geomorphologic mapping*. Enschede: ITC, Smits Publishers.
- Verstappen, H. Th. (1985). *Applied geomorphology: Geomorphological surveys for environmental development*. Amsterdam: Elsevier.