

Geomorfologi Daerah Mananggu dan Sekitarnya, Kecamatan Mananggu, Kabupaten Boalemo, Provinsi Gorontalo

Muhammad Ridho Kayambo¹, Yuyu Indriati Arifin¹, Noviar Akase¹, Djamal Adi Nugroho Uno²

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

² Program Studi Teknik Geologi, Fakultas Teknik, Universitas Tadulako

*e-mail: mridhokayambo03@gmail.com

Abstract

This research was conducted in the Mananggu area and its surroundings, Mananggu District, Boalemo Regency, Gorontalo Province. The study aims to map the geological conditions and identify the characteristics of geomorphology and geological structures developed in the area. The methods employed included surface geological mapping for field data collection, followed by laboratory analyses. Geomorphologically, the research area is divided into two units: the Volcanic Hills Unit and the Structural Hills Unit. The stratigraphy consists of the Eocene-Oligocene Porphyritic Andesite Unit (Tinombo Formation) and the Pliocene Granite Unit (Bumbulan Granodiorite Formation) acting as an intrusive body. The geological structures are controlled by a transtensional regime resulting from compression, manifested as NW-SE shear joints, right normal slip faults, and normal right slip faults. The landscape evolution is strongly influenced by the interplay between the resistance of the igneous lithologies and the active tectonic deformation that shapes the drainage patterns and slope configurations.

Keywords: *Geology; Geomorphology; Mananggu; Structural Control; Transtensional Regime*

Abstrak

Penelitian ini dilakukan di wilayah Mananggu dan sekitarnya, Kecamatan Mananggu, Kabupaten Boalemo, Provinsi Gorontalo. Penelitian ini bertujuan untuk memetakan kondisi geologi serta mengidentifikasi karakteristik geomorfologi dan struktur geologi yang berkembang di daerah penelitian. Metode yang digunakan meliputi pemetaan geologi permukaan untuk pengambilan data lapangan yang kemudian dilengkapi dengan analisis laboratorium. Secara geomorfologi, daerah penelitian dibagi menjadi dua satuan utama, yaitu Satuan Perbukitan Vulkanik dan Satuan Perbukitan Struktural. Stratigrafi daerah ini tersusun atas Satuan Andesit Porfiritik berumur Eosen–Oligosen yang termasuk dalam Formasi Tinombo serta Satuan Granit berumur Pliosen yang merupakan bagian dari Formasi Granodiorit Bumbulan dan berperan sebagai tubuh intrusi. Struktur geologi dikontrol oleh rezim transtensional akibat gaya kompresi, yang termanifestasi dalam bentuk kekar geser berarah baratlaut–tenggara, sesar normal manganan, dan sesar mendatar normal manganan. Evolusi bentang alam sangat dipengaruhi oleh interaksi antara ketahanan litologi beku dan deformasi tektonik aktif yang mengontrol pola aliran sungai serta konfigurasi lereng wilayah penelitian setempat.

Kata kunci: *Geologi; Geomorfologi; Mananggu; Kontrol Struktur; Rezim Transtensional*

1. PENDAHULUAN

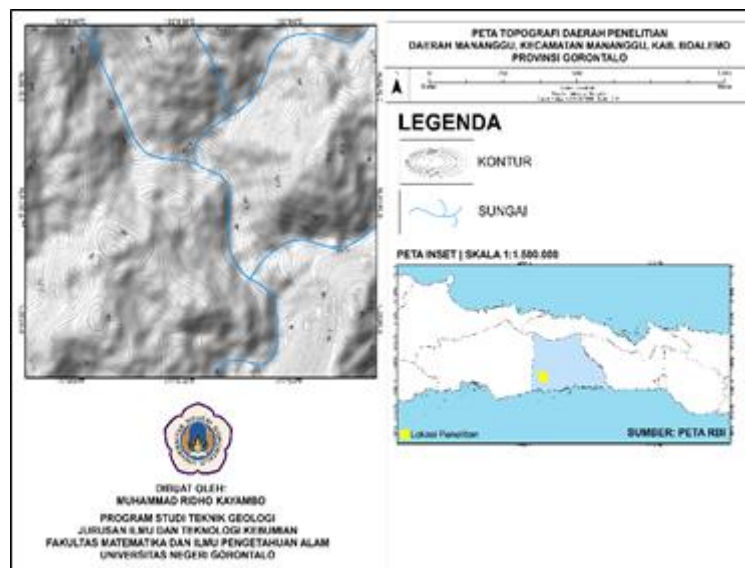
Pulau Sulawesi merupakan salah satu kawasan dengan kompleksitas tektonik tertinggi di dunia yang disebabkan oleh pertemuan tiga lempeng utama, yaitu Lempeng Eurasia, Lempeng Indo-Australia, dan Lempeng Pasifik (Simandjuntak, 1992; Pasau & Tanauma, 2011). Interaksi dinamis antar lempeng ini menghasilkan karakteristik fisiografi yang unik, khususnya pada Lengan Utara Sulawesi. Wilayah Gorontalo, yang terletak di bagian tengah Lengan Utara, didominasi oleh pegunungan vulkanik Tersier dan berbagai fitur struktural yang memengaruhi pembentukan bentang alamnya (Bemmelen, 1949). Pemahaman mendalam mengenai geomorfologi di wilayah ini menjadi krusial untuk mengidentifikasi potensi fisik lahan maupun kerentanannya terhadap bencana geologi.

Studi geomorfologi memberikan wawasan mendasar mengenai bentuk lahan, proses pembentukannya, serta hubungannya dengan struktur geologi yang berkembang. Penelitian terdahulu di wilayah Kabupaten Gorontalo oleh Rauf dkk. (2024) menunjukkan bahwa identifikasi satuan geomorfologi, kemiringan lereng, dan pola aliran sungai sangat penting sebagai acuan dasar dalam pengelolaan lingkungan dan mitigasi risiko fisik. Pendekatan serupa perlu diterapkan pada wilayah-wilayah lain di Gorontalo yang memiliki tatanan geologi serupa namun belum terpetakan secara rinci.

Kecamatan Mananggu dan sekitarnya, Kabupaten Boalemo, merupakan wilayah yang dilintasi oleh Busur Sulawesi-Mindanao Timur dan memiliki variasi topografi yang signifikan. Meskipun secara regional fisiografi wilayah ini telah dijelaskan dalam berbagai literatur geologi Sulawesi, pemetaan geomorfologi skala rinci yang mengintegrasikan aspek morfografi, morfometri, dan morfogenesis di daerah ini masih terbatas. Kondisi geologi yang dipengaruhi oleh aktivitas vulkanisme masa lampau (Formasi Tinombo) dan intrusi batuan beku (Formasi Granodiorit Bumbulan) serta kontrol struktur geologi yang intensif, menciptakan karakteristik bentang alam yang spesifik dan perlu dikaji lebih lanjut.

Penelitian ini bertujuan untuk memetakan dan mengklasifikasikan satuan geomorfologi di daerah Mananggu dan sekitarnya. Fokus penelitian mencakup analisis kemiringan lereng, identifikasi pola aliran sungai, serta penentuan satuan geomorfologi berdasarkan klasifikasi bentuk lahan dan proses geologi yang mengontrolnya. Hasil penelitian ini diharapkan dapat melengkapi data geologi lokal dan memberikan informasi faktual mengenai karakteristik fisik lahan di Kabupaten Boalemo.

2. METODE



Gambar 1 Peta Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di daerah Mananggu dan sekitarnya, yang secara administratif termasuk dalam wilayah Kecamatan Mananggu, Kabupaten Boalemo, Provinsi Gorontalo. Lokasi penelitian berjarak sekitar ± 134 km dari Kota Gorontalo dan dapat ditempuh menggunakan kendaraan roda dua maupun roda empat dengan waktu tempuh kurang lebih 2 jam 40 menit. Secara astronomis, daerah penelitian terletak pada koordinat $0^{\circ}34'30'' - 0^{\circ}34'50''$ Lintang Utara dan $122^{\circ}08'40'' - 122^{\circ}09'00''$ Bujur Timur. Pemilihan lokasi ini didasarkan pada kompleksitas tatanan geologi lokal yang menunjukkan variasi bentang alam signifikan akibat pengaruh aktivitas Ikanisme Formasi Tinombo dan intrusi batuan beku Formasi Granodiorit Bumbulan.

Metode penelitian yang diterapkan menggunakan pendekatan analisis spasial berbasis Sistem Informasi Geografis (SIG) yang dikombinasikan dengan observasi lapangan detail. Tahapan penelitian dilakukan secara sistematis mulai dari tahap persiapan, pengolahan data studio, hingga verifikasi lapangan (Gambar 2). Berikut adalah uraian tahapan metode yang digunakan:

a. Pengumpulan Data dan Pengolahan Citra Digital

Data dasar yang digunakan dalam penelitian ini meliputi Peta Rupa Bumi Indonesia (RBI) skala 1:50.000 Lembar Tilamuta sebagai peta dasar, serta data Digital Elevation Model Nasional (DEMNAS) dengan resolusi spasial 8 meter yang diunduh dari Badan Informasi Geospasial (BIG). Citra DEMNAS dipilih karena memiliki resolusi tinggi yang mampu merepresentasikan variasi topografi permukaan dengan lebih akurat dibandingkan data DEM global lainnya. Pengolahan data digital dilakukan menggunakan perangkat lunak ArcGIS 10.8 dan Global Mapper untuk menghasilkan data turunan

berupa peta kemiringan lereng, peta pola aliran sungai, dan penarikan kelurusan (lineament) punggung serta lembah.

b. Analisis Kemiringan Lereng

Analisis kemiringan lereng dilakukan untuk mengidentifikasi variasi topografi dan tingkat ketererangan lahan yang menjadi parameter utama dalam penentuan satuan geomorfologi. Data DEM diolah untuk menghasilkan nilai persentase kemiringan lereng pada setiap piksel. Hasil pengolahan tersebut kemudian diklasifikasikan berdasarkan klasifikasi Van Zuidam (1985), yang membagi kemiringan lereng menjadi beberapa kelas mulai dari datar (0-2%), landai (3-7%), miring (8-13%), agak curam (14-20%), curam (21-55%), hingga sangat curam (>55%). Peta kemiringan lereng ini berfungsi sebagai dasar interpretasi morfometri untuk membedakan satuan bentuk lahan vulkanik dan struktural di daerah penelitian.

c. Analisis Morfografi dan Pola Aliran Sungai

Analisis morfografi dilakukan secara kualitatif untuk mendeskripsikan kenampakan bentang alam, seperti bentuk bukit, lembah, dan pola relief secara umum. Bersamaan dengan itu, dilakukan analisis pola aliran sungai dengan metode delineasi jaringan sungai dari citra DEMNAS yang divalidasi dengan peta RBI. Penentuan pola aliran sungai mengacu pada klasifikasi Howard (1967), yang mempertimbangkan geometri percabangan sungai untuk menginterpretasikan kontrol struktur geologi dan resistensi batuan dasar. Identifikasi pola aliran seperti dendritik atau subdendritik digunakan untuk membantu analisis morfogenesis dan tingkat erosi yang berkembang di wilayah studi.

d. Analisis Satuan Geomorfologi

Penentuan satuan geomorfologi dilakukan dengan mengintegrasikan hasil analisis morfografi (deskripsi bentuk lahan), morfometri (kuantifikasi kemiringan lereng), dan morfogenesis (asal-usul pembentukan). Berdasarkan sintesis ketiga aspek tersebut, daerah penelitian dikelompokkan menjadi satuan-satuan geomorfologi yang mencerminkan proses geologi dominan, baik yang bersifat endogen (vulkanisme dan tektonik) maupun eksogen (pelapukan dan erosi). Klasifikasi ini bertujuan untuk memetakan unit-unit lahan yang memiliki karakteristik fisik seragam.

e. Pemetaan Lapangan

Tahap verifikasi lapangan dilakukan untuk memvalidasi hasil interpretasi studio dengan kondisi aktual di permukaan (ground check). Kegiatan ini meliputi pengamatan morfologi secara visual, pengukuran struktur geologi (kekar dan sesar) yang mengontrol bentang alam, serta identifikasi litologi penyusun pada setiap satuan geomorfologi. Data lapangan ini digunakan untuk mengoreksi batas satuan geomorfologi yang telah didelineasi sebelumnya dan memperkuat interpretasi mengenai sejarah pembentukan bentang alam di daerah penelitian.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bagian Karakteristik geomorfologi daerah Mananggu dan sekitarnya merupakan manifestasi dari interaksi kompleks antara proses endogen (aktivitas tektonik dan vulkanisme) serta proses eksogen (pelapukan dan erosi). Berdasarkan analisis spasial dan verifikasi lapangan, bentang alam daerah ini dikontrol secara signifikan oleh resistensi litologi penyusun Formasi Tinombo dan intrusi Granodiorit Bumbulan, serta deformasi struktur geologi yang intensif.

3.1. Analisis Morfometri dan Kestabilan Lereng

Analisis kemiringan lereng (slope analysis) dilakukan untuk mengidentifikasi karakteristik relief dan potensi kerawanan fisik lahan di daerah penelitian. Berdasarkan pengolahan data DEMNAS yang mengacu pada klasifikasi Van Zuidam (1985), topografi daerah Mananggu dan sekitarnya terbagi menjadi lima kelas kemiringan utama, mulai dari datar hingga curam. Distribusi spasial dan karakteristik masing-masing kelas lereng diuraikan sebagai berikut:

a. Kelas Datar hingga Sangat Landai (0–7%)

Zona dengan kemiringan 0–7% menempati persentase wilayah yang relatif kecil, umumnya tersebar di sepanjang bantaran sungai utama dan dataran aluvial sempit di antara perbukitan. Selain itu, morfologi ini juga dijumpai secara setempat pada puncak-puncak bukit yang melebar (broad crest) pada

Satuan Perbukitan Vulkanik. Secara geomorfologis, area ini merupakan zona deposisi material hasil rombakan dari area yang lebih tinggi atau sisa permukaan purba yang belum tererosi sempurna. Kestabilan lereng pada zona ini tergolong tinggi dengan potensi erosi yang minim, sehingga relatif aman untuk pengembangan infrastruktur atau permukiman terbatas (Rauf dkk., 2024).

b. Kelas Landai (8–13%)

Zona ini merupakan area transisi antara dataran aluvial dan kaki perbukitan. Kemiringan 8–13% teridentifikasi pada lereng-lereng bawah (foot slopes) dari Satuan Perbukitan Vulkanik. Pada zona ini, proses transportasi material mulai mendominasi dibandingkan proses deposisi. Meskipun relatif stabil, pengelolaan lahan pada kemiringan ini memerlukan penerapan teknik konservasi tanah sederhana untuk mencegah degradasi lahan akibat aliran permukaan (runoff), sebagaimana disarankan dalam studi geomorfologi terapan di wilayah Gorontalo (Rauf dkk., 2024).

c. Kelas Agak Curam (14–20%)

Kelas kemiringan ini tersebar mengelilingi tubuh perbukitan intrusi dan vulkanik. Peningkatan gradien lereng pada zona ini berkaitan erat dengan resistensi batuan penyusun, yaitu Andesit Porfiritik dan Granit, yang mulai merespons gaya eksogen. Pada kelas ini, potensi gerakan tanah mulai meningkat, terutama pada area yang mengalami pelapukan intensif atau memiliki tutupan vegetasi yang jarang. Van Zuidam (1985) mengategorikan kelas ini sebagai zona yang memerlukan kewaspadaan terhadap erosi lembar (sheet erosion).

d. Kelas Curam (21–53%)

Zona ini mendominasi sebagian besar daerah penelitian, mencakup lereng-lereng terjal pada Satuan Perbukitan Struktural di bagian timur dan tubuh perbukitan vulkanik di bagian barat. Dominasi lereng curam dengan persentase hingga 53% mengindikasikan kuatnya kontrol tektonik berupa pengangkatan (uplift) dan sesar, khususnya Sesar Normal berarah Barat Laut–Tenggara yang memotong batuan intrusi (Kayambo, 2025). Kondisi ini menciptakan relief yang kasar dengan lembah-lembah sungai yang dalam (incised valleys).

Tingginya sudut lereng pada zona ini mempercepat laju aliran permukaan dan energi kinetik air, sehingga memperbesar kapasitas angkut sedimen (Summerfield, 1991). Selain itu, keberadaan kekar gerus (shear joints) yang intensif pada batuan beku di lereng curam ini menjadi bidang lemah yang meningkatkan kerentanan terhadap bencana longsor (landslide), terutama saat curah hujan tinggi (Rauf dkk., 2024). Oleh karena itu, zona ini direkomendasikan sebagai kawasan lindung geologi untuk menjaga kestabilan lingkungan.

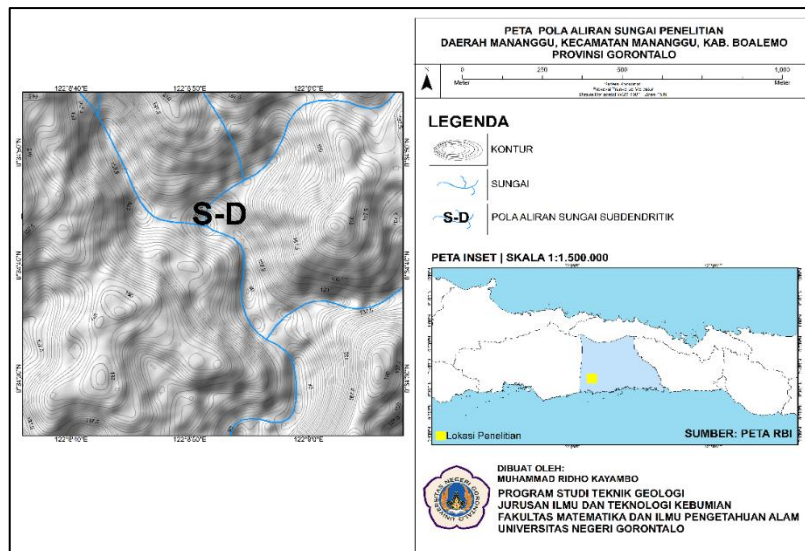
3.2. Pola Aliran dan Stadia Sungai

Pola pengaliran sungai merupakan cerminan langsung dari interaksi antara air permukaan dengan resistensi batuan dasar dan struktur geologi yang berkembang di suatu wilayah. Berdasarkan deliniasi jaringan sungai pada peta topografi dan citra DEMNAS, serta divalidasi melalui pengamatan lapangan, karakteristik hidrologi daerah Mananggu dan sekitarnya dapat diuraikan sebagai berikut.

a. Pola Aliran Sungai

Berdasarkan klasifikasi Howard (1967), pola aliran dominan yang berkembang di daerah penelitian adalah **Sub-Dendritik**. Pola ini secara umum menyerupai struktur percabangan pohon (*dendritic*), namun mengalami modifikasi akibat adanya kontrol struktur geologi sekunder. Pada beberapa segmen sungai, terutama di bagian hulu yang menempati Satuan Perbukitan Struktural, percabangan anak sungai menunjukkan kecenderungan mengikuti kelurusan-kelurusan (*lineaments*) batuan.

Pola sub-dendritik ini terbentuk pada litologi batuan beku (Andesit Porfiritik dan Granit) yang relatif homogen namun telah mengalami deformasi tektonik. Kekar gerus (*shear joints*) yang berarah dominan Barat Laut–Tenggara (NW-SE) menjadi jalur lemah yang dieksploitasi oleh aliran air, mengarahkan orientasi sungai menjadi lebih tegas dibandingkan pola dendritik murni yang biasanya berkembang pada batuan sedimen horizontal atau batuan beku masif tanpa gangguan struktur .



Gambar 1 Peta Pola Aliran Sungai

2. Stadia Sungai

Analisis stadia sungai dilakukan untuk menentukan tingkat kedewasaan bentang alam. Berdasarkan pengamatan morfologi lembah di lapangan, sungai-sungai di daerah penelitian umumnya diklasifikasikan berada pada **stadia muda** (*youth stage*). Karakteristik fisik yang mendukung klasifikasi ini meliputi:

- Bentuk Lembah:** Penampang melintang lembah sungai berbentuk huruf "V" yang tajam dan sempit (Gambar 5). Bentuk ini mengindikasikan bahwa energi aliran sungai terkonsentrasi untuk erosi vertikal (*downcutting*) guna memperdalam dasar sungai, dibandingkan erosi lateral yang memperlebar lembah .
- Gradien Sungai:** Sungai memiliki gradien atau kemiringan dasar yang curam, menyebabkan aliran air menjadi deras dan turbulen. Hal ini selaras dengan kondisi topografi perbukitan yang mendominasi daerah hulu.
- Minimnya Dataran Banjir:** Pada stadia muda, dataran banjir (*floodplain*) belum terbentuk atau sangat sempit dan tidak menerus. Sungai mengalir langsung di atas batuan dasar (*bedrock channel*) dengan material sedimen dasar berupa bongkah-bongkah batuan beku berukuran besar.
- Kondisi stadia muda ini menegaskan bahwa daerah Mananggu merupakan wilayah yang secara tektonik masih aktif atau belum lama mengalami pengangkatan, sehingga sungai-sungai terus berusaha mencapai profil keseimbangan (*equilibrium profile*) melalui insisi vertikal yang intensif (Summerfield, 1991; Goudie, 2013).

Kondisi stadia muda ini menegaskan bahwa daerah Mananggu merupakan wilayah yang secara tektonik masih aktif atau belum lama mengalami pengangkatan, sehingga sungai-sungai terus berusaha mencapai profil keseimbangan (*equilibrium profile*) melalui insisi vertikal yang intensif (Summerfield, 1991; Goudie, 2013).

3.3. Satuan Geomorfologi dan Morfogenesis

Pola Klasifikasi satuan geomorfologi di daerah penelitian didasarkan pada pendekatan fisiografis yang mengintegrasikan aspek morfografi (deskripsi bentuk lahan), morfometri (nilai kemiringan lereng), dan morfogenesis (asal-usul pembentukan). Berdasarkan analisis tersebut, daerah Mananggu dan sekitarnya terbagi menjadi dua satuan geomorfologi utama yang mencerminkan sejarah geologi kompleks, yaitu Satuan Perbukitan Vulkanik dan Satuan Perbukitan Struktural.

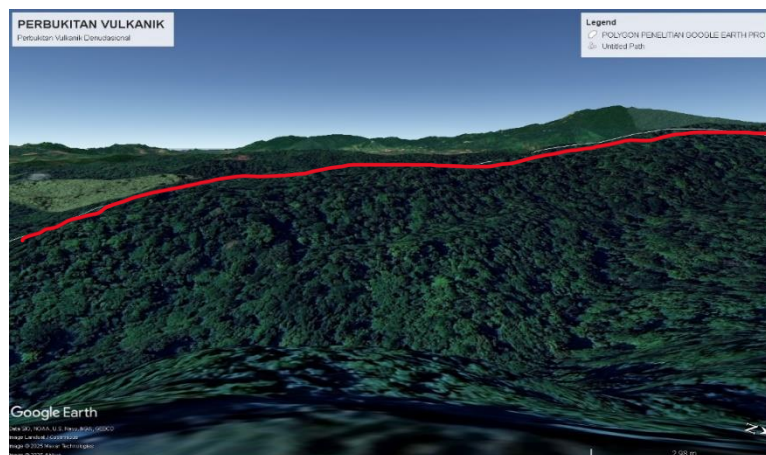


Gambar 2 Stadia sungai daerah penelitian

a. Satuan Perbukitan Vulkanik

Satuan ini merupakan unit geomorfologi yang mendominasi wilayah penelitian dengan luasan mencakup sekitar 54% dari total area pemetaan. Secara spasial, satuan ini tersebar luas di bagian barat hingga tengah daerah penelitian. Karakteristik morfografi satuan ini dicirikan oleh relief perbukitan dengan pola kontur yang cenderung membulat dan renggang pada bagian puncak (*crest*), namun menjadi rapat pada bagian lereng tubuh bukit.

Secara morfometri, satuan ini memiliki variasi kemiringan lereng yang lebar, mulai dari datar (2%) di puncak bukit hingga curam (53%) pada lereng-lereng yang tererosi. Pembentukan satuan ini dikontrol oleh **morfostruktur pasif**, yaitu keberadaan litologi batuan beku **Andesit Porfiritik** yang berumur Eosen-Oligosen (Formasi Tinombo). Sifat fisik batuan andesit yang masif dan resisten terhadap pelapukan menyebabkan bentang alam ini mampu mempertahankan relief tingginya dari proses denudasi intensif (Verstappen, 2010).



Gambar 3 Kenampakan Satuan Perbukitan Vulkanik menggunakan citra Google Earth

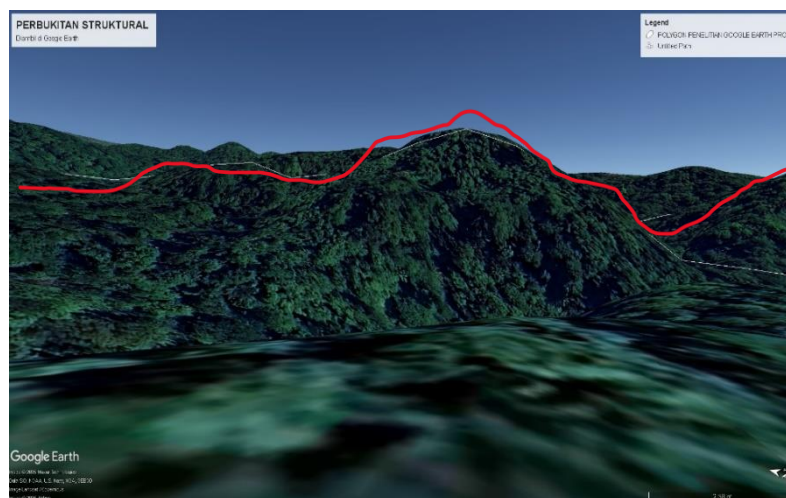
Meskipun genesa utamanya adalah vulkanisme, morfogenesis aktif berupa pelapukan dan erosi fluvial juga berperan signifikan. Hal ini terbukti dari berkembangnya pola pengaliran subdendritik yang

mengikis batuan mengikuti zona lemah berupa kekar (*joints*), membentuk lembah-lembah sungai stadia muda.

c. Satuan Perbukitan Struktural

Satuan Perbukitan Struktural menempati bagian timur daerah penelitian dengan karakteristik relief yang lebih tegas dan beda tinggi yang mencolok. Satuan ini memiliki kisaran kemiringan lereng antara 13% hingga 52%. Berbeda dengan satuan vulkanik, pembentukan satuan ini dikontrol secara dominan oleh **morfostruktur aktif** (aktivitas tektonik) dan intrusi magmatik.

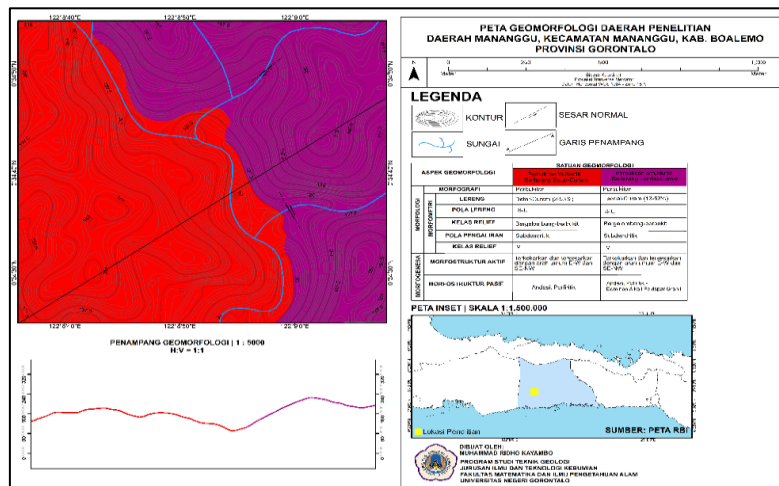
Secara morfografi, satuan ini menampilkan bentang alam yang khas dengan punggung bukit yang memanjang dan lembah-lembah curam yang berorientasi mengikuti pola kelurusan struktur. Perbedaan mendasar dengan satuan vulkanik terletak pada ketegasan bentuk reliefnya; di mana erosi tidak berjalan seragam melainkan terkonsentrasi pada zona-zona lemah yang terbentuk akibat deformasi batuan. Kondisi ini mencerminkan respons litologi batuan beku plutonik yang masif terhadap gaya tektonik yang bekerja, menghasilkan topografi dengan tekstur pengaliran yang kasar dan pola relief yang dikontrol kuat oleh kekar maupun sesar.



Gambar 4 Kenampakan Satuan Perbukitan Struktural diambil menggunakan citra Google Earth

Analisis geologi menunjukkan bahwa bentang alam ini terbentuk akibat kombinasi desakan tubuh intrusi **Granit** (Formasi Granodiorit Bumbulan) dan deformasi tektonik berupa Sesar Normal berarah Barat Laut-Tenggara (NW-SE). Gaya tektonik kompresional yang menghasilkan rezim *transtensional* telah mengangkat blok batuan dan membentuk bidang-bidang sesar yang curam. Kelurusan punggung dan lembah yang tegas pada satuan ini merupakan manifestasi langsung dari kontrol struktur sesar tersebut (Burbank & Anderson, 2011).

Kehadiran intrusi granit yang berumur Pliosen memberikan resistensi tambahan terhadap erosi, namun zona hancuran di sepanjang jalur sesar mempercepat proses degradasi lahan pada segmen-segmen tertentu. Interaksi antara pengangkatan tektonik yang cepat dan erosi sungai menghasilkan topografi yang kasar dan belum mencapai tahap keseimbangan geomorfik (Summerfield, 1991).



Gambar 5 Peta Geomorfologi Daerah Penelitian

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pemetaan dan analisis geomorfologi di daerah Mananggu dan sekitarnya, dapat ditarik beberapa kesimpulan utama mengenai karakteristik fisik lahan dan proses pembentukannya:

- Satuan Geomorfologi:** Daerah penelitian terbagi menjadi dua satuan bentang alam utama. Satuan Perbukitan Vulkanik merupakan unit dominan yang mencakup 54% wilayah studi, dicirikan oleh topografi bergelombang yang terbentuk di atas batuan vulkanik Formasi Tinombo. Satuan Perbukitan Struktural menempati bagian timur dengan relief yang lebih kasar dan lereng terjal, dikontrol oleh intrusi batuan beku dan aktivitas sesar.
- Morfometri dan Hidrologi:** Analisis kelerengan menunjukkan dominasi topografi curam hingga sangat curam pada sebagian besar wilayah, yang berimplikasi pada tingginya potensi erosi permukaan. Sistem drainase berkembang membentuk pola aliran Sub-Dendritik yang dikontrol oleh kekar dan kelurusan struktur, dengan sungai-sungai yang berada pada stadia muda. Hal ini ditandai oleh lembah sungai berbentuk "V" yang mengindikasikan dominasi erosi vertikal akibat pengangkatan tektonik yang masih aktif.
- Kontrol Geologi:** Pembentukan bentang alam di daerah ini merupakan hasil interaksi antara morfostruktur pasif (resistensi batuan Andesit Porfiritik dan Granit) dan morfostruktur aktif (gaya tektonik kompresi). Struktur geologi berupa sesar normal dan kekar gerus berarah Barat Laut–Tenggara berperan signifikan dalam mengarahkan pola aliran sungai dan mempertegas beda tinggi pada satuan struktural.dimasukkan.

DAFTAR PUSTAKA

- Bachri, S., Sukido, & Ratman, N. (1993). *Peta Geologi Lembar Tilamuta, Sulawesi*. Bandung: Pusat Survei Geologi.
- Bemmelen, R. W. van. (1949). *The Geology of Indonesia*. The Hague: Government Printing Office.
- Burbank, D. W., & Anderson, R. S. (2011). *Tectonic Geomorphology* (2nd ed.). Chichester: Wiley-Blackwell. <https://doi.org/10.1002/9781444345063>
- Goudie, A. S. (2013). *The Human Impact on the Natural Environment: Past, Present, and Future* (7th ed.). Oxford: Wiley-Blackwell.
- Hall, R., & Wilson, M. E. J. (2000). Neogene sutures in eastern Indonesia. *Journal of Asian Earth Sciences*, 18(6), 781–808. [https://doi.org/10.1016/S1367-9120\(00\)00040-7](https://doi.org/10.1016/S1367-9120(00)00040-7)
- 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>
- Huggett, R. J. (2017). *Fundamentals of Geomorphology* (4th ed.). London: Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781315640211>

- Pasau, G., & Tanauma, A. (2011). Pemodelan sumber gempa di wilayah Sulawesi Utara sebagai upaya mitigasi bencana gempa bumi. *Jurnal Ilmiah Sains*, 11(2), 202–209. <https://doi.org/10.35799/jis.11.2.2011.208>
- Rauf, J., Arifin, Y. I., & Akase, N. (2024). Geomorfologi Daerah Tambang Emas Rakyat Juriya dan Sekitarnya, Kecamatan Bilato, Kabupaten Gorontalo. *Journal of Applied Geoscience and Engineering*, 3(2), 136–149. <https://doi.org/10.34312/jage.v3i2.30322>
- Simandjuntak, T. O. (1992). *Tectonics and Resources of the Layout of the Eastern Part of Sulawesi*. Bandung: Geological Research and Development Centre.
- Smyth, H. R., Hall, R., & Nichols, G. J. (2008). Cenozoic volcanic arc history of East Java, Indonesia: The stratigraphic record of eruptions on an active continental margin. *Special Paper of the Geological Society of America*, 436, 199–222. [https://doi.org/10.1130/2008.2436\(10](https://doi.org/10.1130/2008.2436(10)
- Summerfield, M. A. (1991). *Global Geomorphology*. London: Longman Scientific & Technical.
- Van Zuidam, R. A. (1985). *Aerial Photo-Interpretation in Terrain Analysis and Geomorphologic Mapping*. Enschede: ITC.
- Verstappen, H. T. (2010). Indonesian landforms and plate tectonics. *Indonesian Journal of Geography*, 26(1), 1–14. <https://doi.org/10.22146/ijg.2147>