



Geologi dan Panas Bumi Daerah Permandian Air Panas Mangolo Kabupaten Kolaka, Sulawesi Tenggara

Raivel Raivel¹ dan Firman Firman²

¹Program Studi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik UMK, Kendari

²Program Studi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik Unkhair, Ternate

*Corresponding author: raivelgeologi011@gmail.com

Article History

Received : 2 September 2020

Revised : 14 September 2020

Accepted : 1 Oktober 2020

Abstrak

Geologi merupakan ilmu kebumiharian yang memiliki peran penting dalam kehidupan manusia, seperti mendeteksi bencana, menganalisis batuan dan menentukan keberadaan panas bumi. Sulawesi khususnya Kompleks Mekongga Lengan Tenggara Sulawesi bagian tengah menarik untuk diteliti, karena daerah ini pernah mengalami subduksi hingga kolisi antara Mikro Kontinen Mekongga dengan Mikro Kontinen Rumbia dan saat ini terdapat salah satu destinasi permandian air panas di kawasan tersebut (permandian air panas Mangolo). Metode yang digunakan dalam penelitian ini yaitu analisis citra, observasi dan pengolahan data lapangan serta analisis termperatur. Geomorfologi daerah Mata Air Panas Mangolo yaitu Satuan Geomorfologi Pegunungan Denudasional dan Satuan Geomorfologi Pedataran Alluvial. Satuan Pedataran ini dibentuk oleh struktur Sesar Normal. Batuan penyusun daerah ini yaitu sekis mika, sekis klorit dan batugamping. Struktur geologi yang berkembang yaitu kekar, lipatan, dan sesar. Sedangkan, mata air panas yang terbentuk berwarna jernih dan berbau sulphur serta memiliki suhu 42-53°C. Arah aliran mata air panas ini yaitu N65°E dan N72°E-N262°E dan N276°E yang keluar melalui rekahan atau kekar dan sesar. Sistem panas bumi daerah ini terbentuk pada lingkungan non-vulkanik yang dipengaruhi oleh gabungan antara struktur geologi dan sisa magmatisme, umumnya muncul pada batuan metamorf seperti sekis mika dan batuan sedimen seperti batugamping (metagamping).

Kata kunci : geologi, Mangolo, mata air panas, panas bumi

Abstract

Geology is an earth science that has an important role in human life, such as detecting disasters, analysing rocks and the presence of geothermal. Sulawesi, especially the Mekongga Complex Southeast of the middle southeast arm of Sulawesi is interesting to examine, because this area has experienced subduction until collision between the Mekongga Micro Continent with Rumbia Micro Continent and currently there is a hot spring destination in the area (Mangolo hot spring). The method used in this research is image analysis, observation and field data processing and thermal analysis. Geomorphology of the Mangolo hot springs area is the Denudational Mountains Geomorphological Unit and Alluvial Plains Geomorphological Unit. This Plain unit is formed by the Normal Fault Structure. The rocks in this area are mica schist, chlorite schist and limestone. The geological structures that develop are joint, fold, and fault. While, the hot springs have formed are clear in color and smell of sulphur and have a temperature of 42-53°C. The direction of flow of these hot springs are N65°E and N72°E-N262°E and N276°E, which come out through fractures or joint and fault. The geothermal system of this area is formed in a non-volcanic environment which is influenced by a combination of geological structures and residual magmatism, generally appearing in metamorphic rocks such as mica schist and sedimentary rocks such as limestone (metallimestone).

Keywords: geology, Mangolo, hot water spring, geothermal

1. Pendahuluan

Indonesia merupakan wilayah yang terletak pada pertemuan tiga lempeng besar yaitu lempeng benua Eurasia yang relatif ke arah Selatan Tenggara, lempeng samudera Indo-Australia yang bergerak ke arah Utara dan lempeng samudera Pasifik yang bergerak ke arah Barat [1]. Kepulauan Indonesia khususnya Sulawesi yang kurang lebih berada dibagian tengah wilayah Indonesia sebagai sentral pertemuan tiga tersebut, tentunya tidak lepas dari manifestasi aktivitas tektonik seperti perubahan struktur, litologi dan panas bumi.

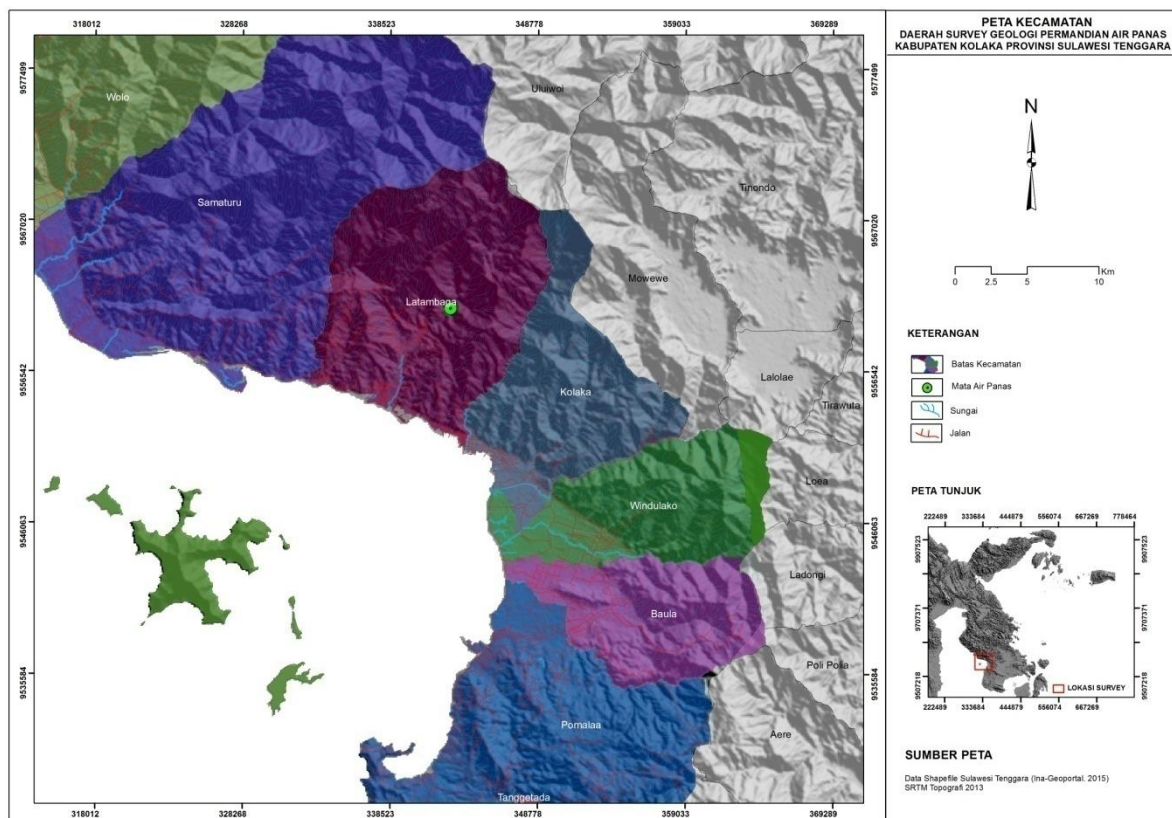
Geologi Lengan Tenggara Sulawesi khususnya Kompleks Mekongga Kabupaten Kolaka sebagai

bagian dari Sulawesi sangat menarik untuk dilakukan studi geologi dan panas bumi, karena daerah ini merupakan daerah yang pernah mengalami subduksi dan kolisi dengan Mikro Kontinen Rumbia. Menurut Musri [2] dan Mawaleda dkk [3], bahwa proto Mikro Kontinen Kompleks Rumbia mengalami subduksi dengan Mikro Kontinen Proto-Mekongga di bagian Utara Lengan Tenggara Sulawesi yaitu 31 Ma dan terjadi kolisi 7 Ma.

Secara litostratigrafi daerah lokasi penelitian tersusun oleh batuan metamorf Kompleks Mekongga dan sedimen Alluvial. Batuan metamorf terdiri dari sekis gneis, dan kuarsit. Kompleks batuan ini merupakan batuan tertua pada daerah penelitian dan sebagai batuan dasar penyusun Sulawesi Tenggara yang diduga berumur Permian-Kapur. Sedangkan Alluvial terdiri dari kerakal, kerikil, pasir, lempung yang berumur Kuartar [4][5][6]. Selain itu, daerah ini dilalui oleh Sesar Kolaka yang membentang dari arah Barat Laut – Tenggara [8].

Sistem panas bumi di Indonesia tersebar pada dua lingkungan geologi, yaitu lingkungan geologi vulkanik dan non-vulkanik. Daerah Sulawesi bagian tenggara memiliki potensi panas bumi yang tersebar dari daratan Sulawesi hingga Pulau Buton [7]. Lingkungan geologi daerah ini berasosiasi dengan lingkungan non-vulkanik berupa mata air panas bertipe bikarbonat, yang telah mengalami pencampuran dengan air permukaan dan terbentuk pada lingkungan batuan sedimen [7]. Sistem panas bumi di daratan Sulawesi bagian tenggara lebih dipengaruhi oleh gabungan antara pengaruh pola struktur geologi dan sisa panas dari aktivitas magmatik, umumnya muncul di lingkungan batuan metamorf dan sedimen [7].

Berdasarkan hal ini sangat menarik untuk diteliti mengenai Geologi dan Panas Bumi Daerah Permandian Air Panas Mangolo Kabupaten Kolaka, Sulawesi Tenggara. Penelitian ini bisa digunakan sebagai tambahan informasi geologi baru dan dasar dalam pengembangan wisata permandian air panas Mangolo Kabupaten Kolaka.



Gambar 1. Peta Tunjuk Lokasi Kegiatan Penelitian di Permandian Air Panas Mangolo, Kab. Kolaka, Sulawesi Tenggara

2. Metode

Lokasi penelitian terletak di Permandian Air Panas Mangolo, Kabupaten Kolaka, Sulawesi Tenggara (Gambar 1). Jenis penelitian yang digunakan yaitu observasi lapangan dengan pengambilan sampel batuan dan pengukuran struktur dan suhu air panas di beberapa titik stasiun secara representatif. Metode analisis yang digunakan yaitu analisis citra SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*), geologi dan temperatur. Alat dan bahan yang digunakan yaitu kompas geologi (brunton), GPS, palu

geologi, papan *clip board*, kamera, alat tulis menulis, lup, mistar 30 cm dan termometer.

Prosedur kerja dalam penelitian ini terdiri dari studi literatur, pengamatan lapangan dan analisis batuan, struktur geologi dan suhu air panas. Studi literatur yaitu berasal dari makalah, peta Lembar Kolaka, laporan dan jurnal. Pengamatan lapangan dengan pengambilan seluruh data geologi yang berhubungan dengan tujuan penelitian diantaranya yaitu pengamatan singkapan, pengukuran dan pengambilan sampel. Pengamatan singkapan yaitu penentuan dimensi singkapan, penentuan jenis batuan dan pengambilan titik koordinat. Sedangkan, pengukuran terdiri dari pengukuran orientasi foliasi batuan dan struktur geologi. Selanjutnya, pengukuran suhu air panas dengan menggunakan termometer.

3. Hasil dan Pembahasan

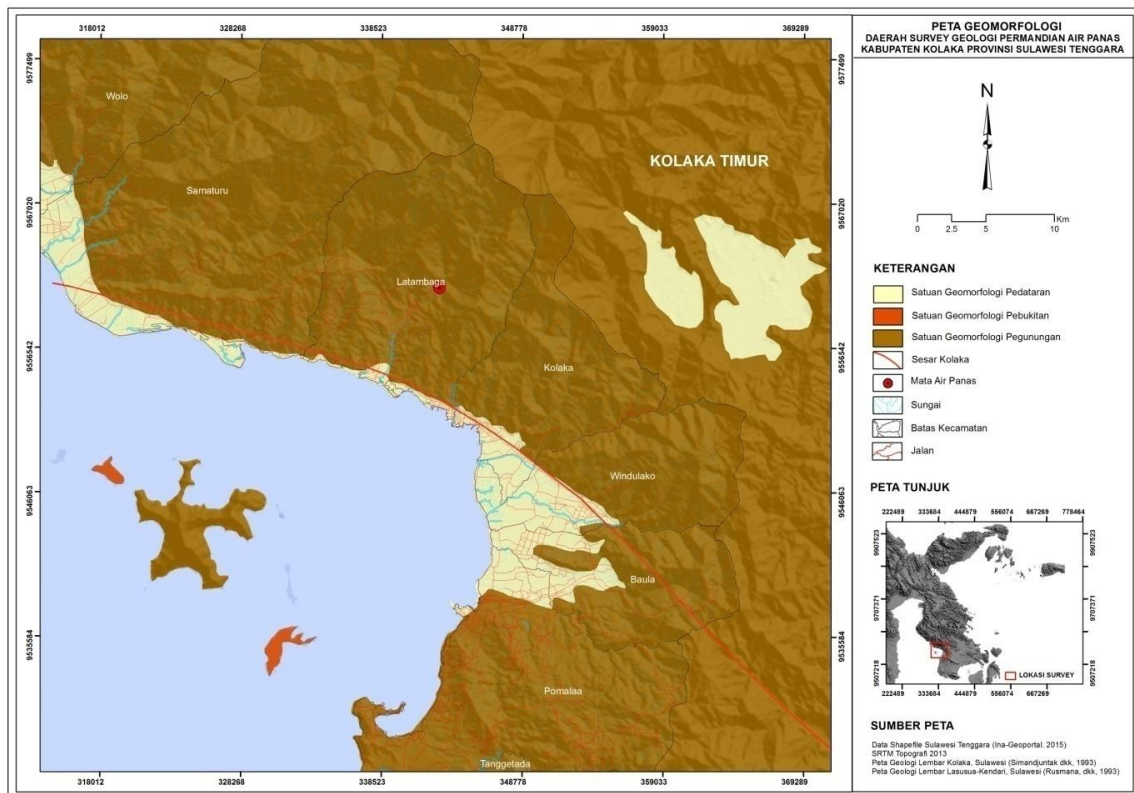
3.1. Geologi Regional

3.1.1 Geomorfologi Regional

Ditinjau dari citra SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*), geomorfologi regional daerah mata air panas Mangolo, terdiri atas dua satuan geomorfologi yaitu Satuan Geomorfologi Pegunungan dan Satuan Geomorfologi Pedataran.

3.1.1.1 Satuan Geomorfologi Pegunungan

Satuan geomorfologi pegunungan menempati bagian terluas di kawasan ini (Gambar 2). Satuan ini mempunyai topografi yang kasar dengan kemiringan lereng tinggi. Rangkaian pegunungan dalam satuan ini mempunyai pola yang hampir sejajar yaitu berarah Barat Laut-Tenggara. Arah ini sejajar dengan pola struktur sesar regional di kawasan ini. Pola tersebut mengindikasikan bahwa pembentukan geomorfologi pegunungan tersebut erat hubungannya dengan sesar regional (Gambar 2). Satuan Geomorfologi ini disusun oleh batuan metamorf [5].



Gambar 2. Peta Geomorfologi Regional Daerah Mata Air Panas Mongolo dan daerah sekitarnya berdasarkan citra SRTM

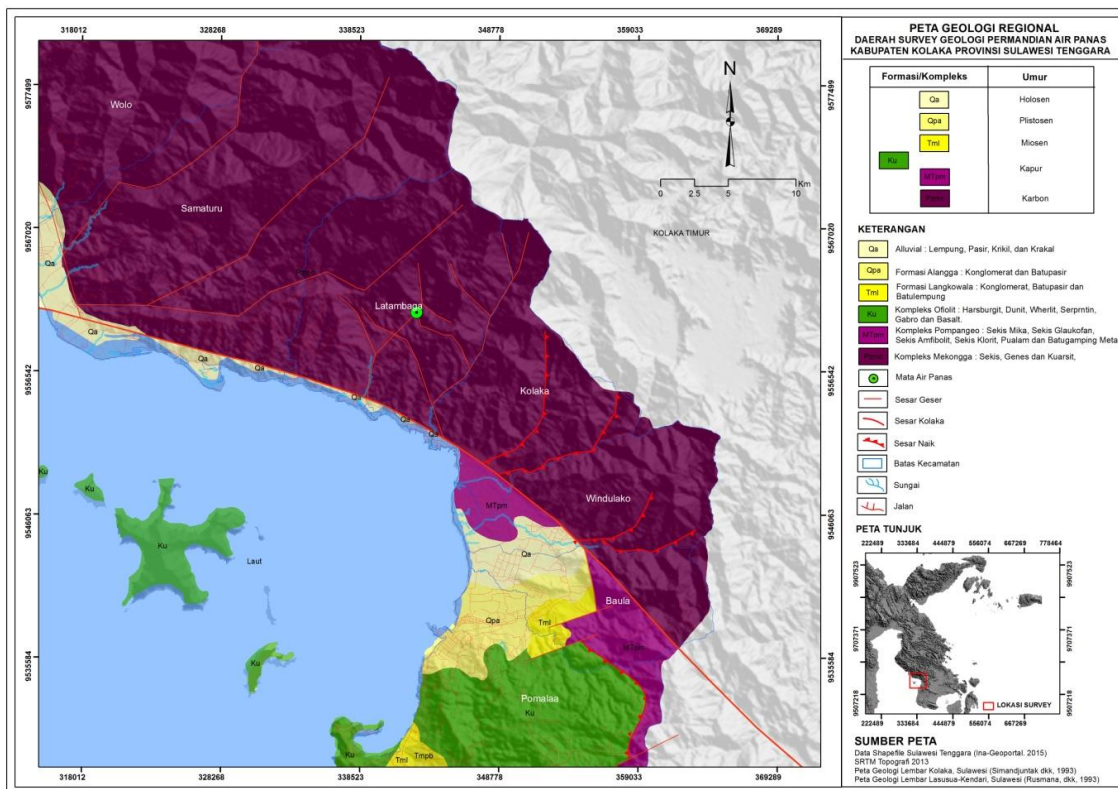
3.1.1.2 Satuan Geomorfologi Pedataran

Satuan Geomorfologi Pedataran terhampar dan menyebar mengikuti garis pantai di bagian barat-selatan daerah mata air panas Mangolo Kabupaten Kolaka (Gambar 2). Satuan Geomorfologi ini, secara umum tersusun oleh Alluvial [5].

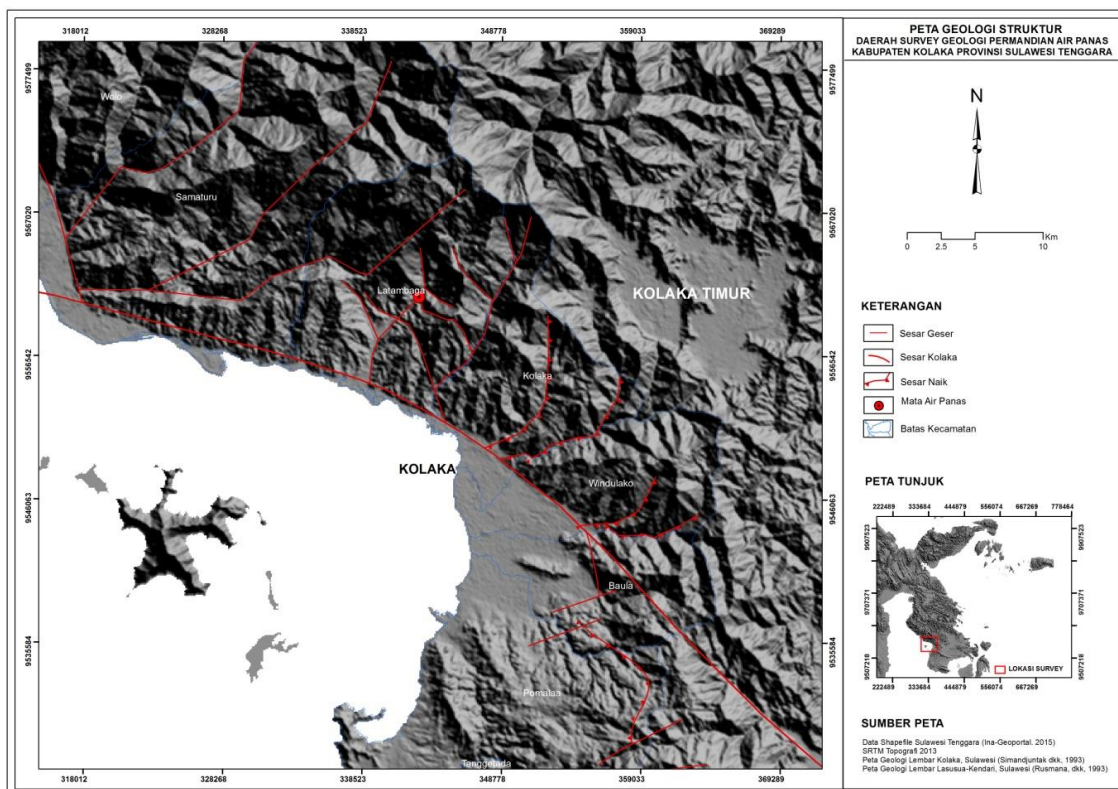
3.1.2 Stratigrafi Regional

Secara litostratigrafi daerah lokasi penelitian tersusun oleh batuan metamorf Kompleks Mekongga

dan sedimen Alluvial. Batuan metamorf terdiri dari sekis genesis, dan kuarsit. Kompleks batuan ini merupakan batuan tertua pada daerah penelitian dan sebagai batuan dasar penyusun Sulawesi Tenggara yang diduga berumur Permian-Kapur. Sedangkan Alluvial terdiri dari kerakal, krikil, pasir, lempung yang berumur Kuartar [5]. Sebaran batuan tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Peta Geologi Regional Daerah Mata Air Panas Mongolo dan daerah sekitarnya (modifikasi dari Simandjuntak dkk [8])



Gambar 4. Peta Struktur Geologi Regional Daerah Mata Air Panas Mongolo dan daerah sekitarnya berdasarkan hasil analisis data Citra SRTM

3.1.3 Struktur Geologi Regional

Geologi struktur daerah penelitian tidak dapat terpisahkan dari proses tektonik dan pembentukan struktur geologi Lengan Tenggara Sulawesi. Berdasarkan hasil kenampakan struktur regional Sulawesi Tenggara dan daerah sekitarnya, daerah penelitian merupakan salah satu daerah yang masih mendapat pengaruh dari Sesar Kolaka yang berarah Barat Laut - Tenggara [5]. Selain itu, berdasarkan hasil analisis data citra SRTM, sesar lain yang terbentuk yaitu Sesar naik dan Sesar Geser yang tepat berada pada titik permandian air panas Mangolo Kabupaten Kolaka (Gambar 4).

3.2 Geologi Daerah Permandian Air Panas Mangolo

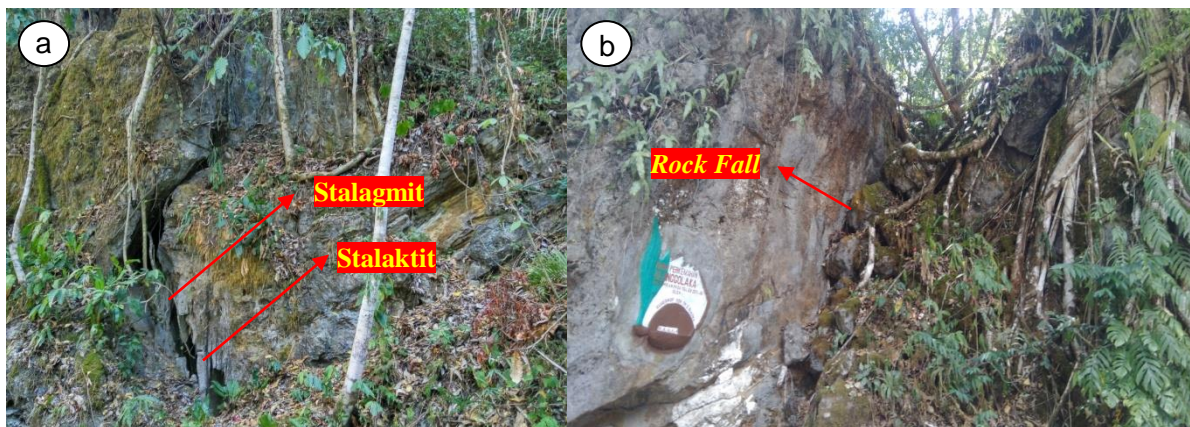
3.2.1 Satuan Geomorfologi Daerah Permandian Air Panas Mangolo

3.2.1.1 Satuan Geomorfologi Pegunungan Denudasional

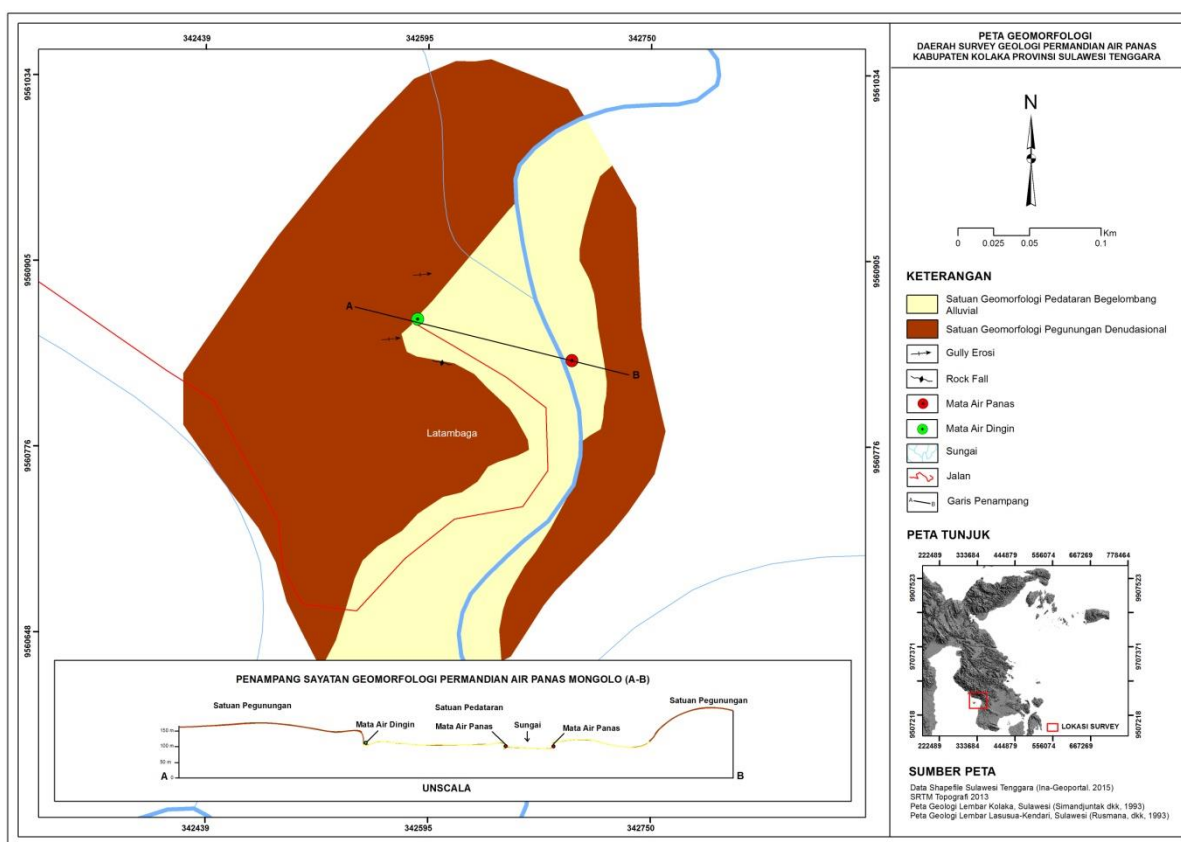
Satuan geomorfologi pegunungan hampir seluruh mengelilingi satuan pedataran area permandian air panas Mangolo (Gambar 5&7). Satuan pegunungan tersebut disusun oleh batuan metamorf yang terdiri dari sekis mika dan metagamping. Batuan tersebut telah mengalami pelapukan kimia, fisika dan biologi (Gambar 6a&b). Pelapukan kimia ditunjukkan dengan adanya pelarutan tubuh singkapan batugamping membentuk stalaktit dan stalagmit (Gambar 6a). Pelapukan fisika ditunjukkan dengan adanya rekahan pada batuan, sedangkan pelapukan biologi ditandai dengan adanya akar tumbuhan dan pohon yang menghancurkan tubuh batugamping/metagamping (Gambar 6b).



Gambar 5. (a) Satuan geomorfologi pegunungan denudasional dan (b) satuan geomorfologi pedataran bergelombang Alluvial dengan arah aliran sungai N200°E (panah merah) Daerah Permandian Air Panas Mangolo



Gambar 6. (a) pelapukan kimia membentuk stalaktit dan stalagmit, (b) pelapukan fisika dan biologi daerah Permandian Air Panas Mangolo



Gambar 7. Peta geomorfologi dan mata air panas daerah Permandian Air Panas Mongolo

3.2.1.2 Satuan Geomorfologi Pedataran Bergelombang Alluvial

Satuan geomorfologi pedataran bergelombang daerah penelitian berada pada ketinggian 108-109 mdpl dengan kemiringan lereng sekitar 0–5° (Gambar 5a&b). Satuan Pedataran bergelombang tersebut disusun oleh sedimen Alluvial yang terdiri dari bongkah, kerakal, krikil dan sediman pasir. Material sedimen Alluvial ini disusun oleh batuan hasil pelapukan batuan metamorf (sekis klorit, sekis mika, dan kuarsit) dan batugamping (metagamping). Satuan ini menempati tepat di bagian tengah permandian air panas (Gambar 7). Satuan pedataran ini terbentuk akibat struktur geologi yaitu sesar turun atau *Normal Fault*.

3.2.2 Sungai

Analisa sungai pada daerah penelitian meliputi jenis sungai, genetik sungai, bentuk sungai, dan stadia sungai. Ditinjau dari volume airnya, maka sungai di daerah permandian air panas Mangolo dapat dikategorikan sebagai jenis sungai non-permanen. Sungai ini memiliki volume air yang sangat dipengaruhi oleh kondisi musim. Saat musim penghujan terjadi fluktuasi volume air yang besar,

sedangkan pada musim kemarau volume air berkurang (Gambar 5a&b). Jika ditinjau dari ukuran sungai maka sungai di daerah penelitian terdapat dua jenis sungai yaitu sungai besar sebagai sungai induk dan sungai kecil sebagai anak sungai.

Deskripsi dan indentifikasi sungai tersebut masing-masing diuraikan sebagai berikut:

1. Sungai induk

Sungai induk ini merupakan jenis sungai yang berukuran besar dengan arah aliran $N152^{\circ}E$ dan $N200^{\circ}E$ (Gambar 7). Sungai ini bersifat non-permanen dengan genetik sungai terdiri dari subsekuen dan konsekuen (Gambar 9). Subsekuen ditandai dengan adanya aliran sungai yang searah dengan arah *strike* foliasi batuan. Sedangkan konsekuen ditandai dengan adanya aliran sungai searah dengan kemiringan batuan (*dip*). Umur atau stadia sungai ini yaitu sudah berada pada stadia tua yang ditunjukkan dengan adanya bentuk sungai "U" lebar dan endapan *point bar*. *Point bar* ini memiliki kandungan material sedimen yang terdiri dari bongkahan batuan metamorf seperti sekis mika, sekis klorit dan batugamping yang telah mengalami metamorfisme derajat rendah (Gambar 5a&b).

2. Anak sungai

Anak sungai ini merupakan sungai kecil yang bermuara pada sungai induk. Sungai jenis ini bersifat non-permanen dengan arah aliran barat laut – menenggara ($N130^{\circ}E$) (Gambar 7&9). Genetik sungai ini yaitu obsekuen yang ditandai dengan adanya aliran sungai berlawanan arah dengan kemiringan batuan (*dip*) (Gambar 9). Umur atau stadia sungai ini yaitu sudah berada pada stadia muda menjelang dewasa yang ditunjukkan dengan adanya bentuk sungai "V" dan endapan atau material sedimen berupa bongkah hingga kerikil (Gambar 8).



Gambar 8. Kenampakan anak sungai jenis non-permanen dengan arah aliran $N130^{\circ}E$ (ST5) daerah Permandian Air Panas Mangolo

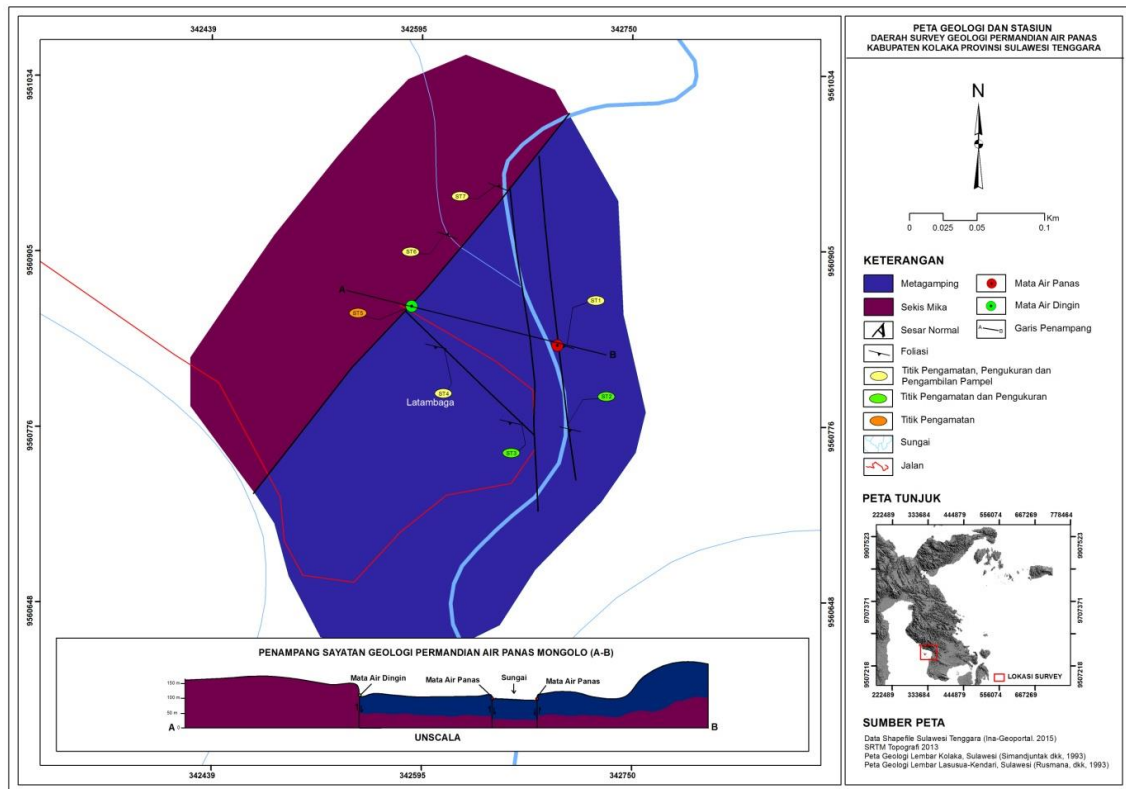
3.2.3 Stratigrafi Permandian Air Panas Mangolo

Hasil pengamatan secara langsung dilapangan menunjukkan satuan batuan yang terdapat pada daerah penelitian yaitu satuan sekis mika dan satuan metagamping. Berdasarkan hasil pengolahan dan analisis data lapangan, batuan sekis mika berada di bagian bawah dan metagamping berada di bagian atas (Gambar 9). Deskripsi dan indentifikasi batuan tersebut masing-masing diuraikan sebagai berikut:

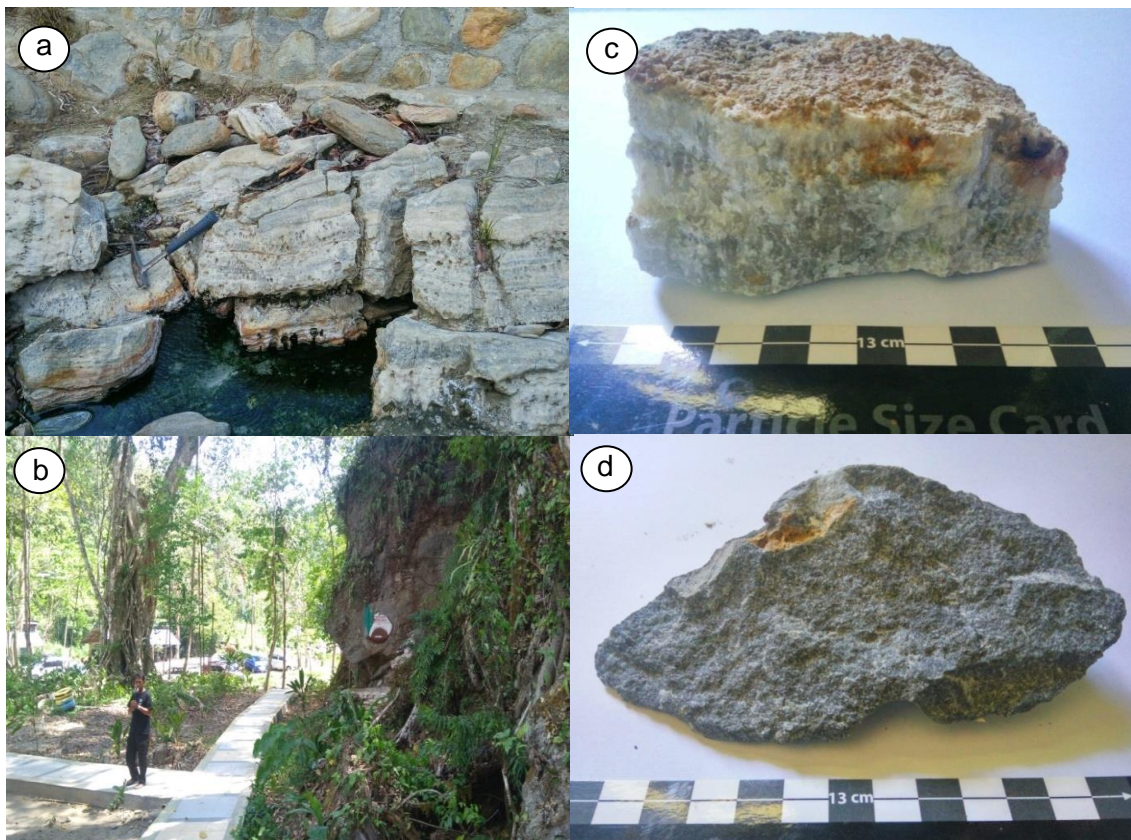
a. Satuan Metagamping

Metagamping yang dijumpai di daerah penelitian (ST1, ST2, ST3 dan ST4) memperlihatkan warna lapuk coklat dan warna segar putih, tekstur kristalin, struktur memperlihatkan kesan perlapisan ($N106^{\circ}E/50^{\circ}$) dan tersusun oleh mineral yang dapat dikenali yaitu kalsit (bereaksi dengan larutan HCl) (Gambar 10). Batuan ini telah mengalami proses metamorfisme, namun tidak sampai pada metamorfisme yang sempurna sehingga batuan ini disebut sebagai metagamping. Batuan ini tersebar di bagian tenggara permandian air panas Mangolo. Secara regional, batuan ini merupakan bagian dari Formasi Tampakura yang berumur Paleosen dan menempati bagian atas batuan metamorf Kompleks Mekongga yang berumur Permian-Kapur. Hubungan stratigrafi dengan batuan dibawahnya yaitu *unconformity* atau ketidakselarasan. Hal ini ditunjukkan dengan perbedaan umur pembentukan yang

begitu jauh. Sedangkan, berdasarkan hasil penelitian lapangan, pengamatan dan hasil analisis, batuan metagamping ini dibatasi oleh struktur sesar turun atau sesar normal terhadap batuan metamorf tersebut (Gambar 9).



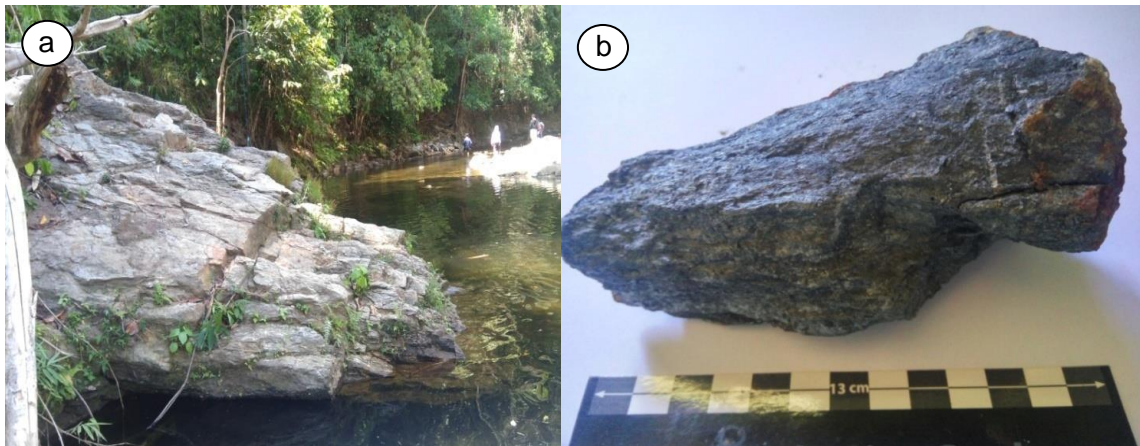
Gambar 9. Peta geologi dan struktur geologi serta stasiun pengamatan daerah Permandian Air Panas Mongolo



Gambar 10. (a-b) foto singkapan dan (c-d) sampel metagamping stasiun satu dan tiga daerah Permandian Air Panas Mangolo

b. Satuan Sekis mika

Batuan sekis mika yang dijumpai di daerah penelitian (ST5, ST6, dan ST7) memperlihatkan warna lapuk coklat dan warna segar abu-abu kehitaman, tekstur lepidoblas, struktur *schistose* ($N291^{\circ}E/50^{\circ}$) dan tersusun oleh mineral yang dapat dikenali antara lain: muskovit dan kuarsa (Gambar 11). Mineral kuarsa hadir pula sebagai *vein* yang sejajar foliasi batuan. Batuan ini tersebar di bagian barat laut permukiman air panas Mangolo (Gambar 9). Secara regional, batuan ini merupakan bagian dari batuan metamorf Kompleks Mekongga yang berumur Permian-Kapur yang berada di atas batugamping (metagamping) Formasi Tampakura yang berumur Paleosen. Hubungan stratigrafi dengan batuan di atasnya yaitu *unconformity* atau ketidakselarasan. Hal ini ditunjukkan dengan perbedaan umur pembentukan yang begitu jauh. Sedangkan, berdasarkan hasil penelitian lapangan, pengamatan dan hasil analisis, batuan ini dibatasi langsung oleh struktur sesar turun atau sesar normal terhadap batuan metagamping (Gambar 9)



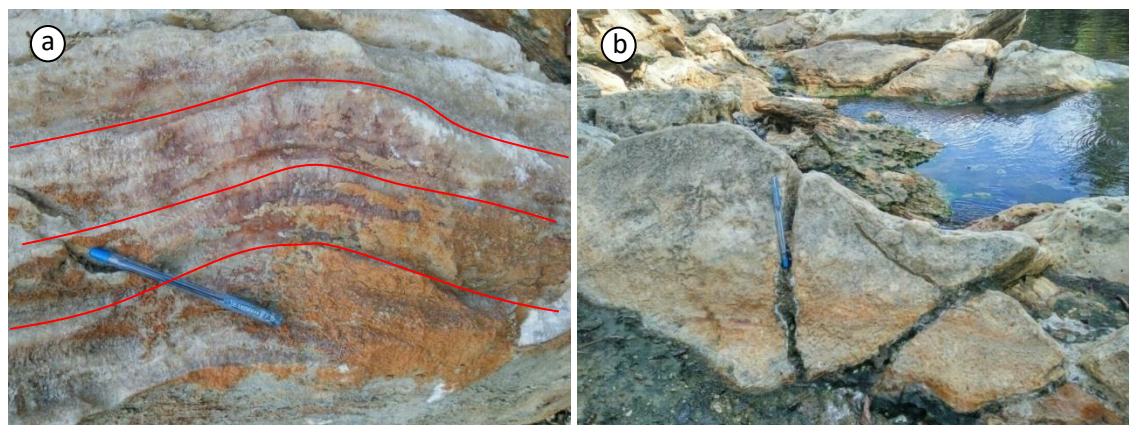
Gambar 11. (a) foto singkapan dan (b) sampel sekis mika stasiun tujuh daerah Permandian Air Panas Mangolo

3.2.4. Struktur Geologi Daerah Permandian Air Panas Mangolo

Struktur Geologi yang terbentuk pada daerah permandian air panas Mangolo yaitu lipatan, kekar dan sesar. Struktur geologi tersebut dijumpai pada metagamping dan sekis mika. Identifikasi struktur geologi masing-masing diuraikan sebagai berikut:

1. Struktur lipatan

Struktur lipatan yang dijumpai di daerah penelitian (ST1) yaitu lipatan minor antiklin (Gambar 12a). Lipatan ini terbentuk di batuan sedimen metagamping yang berada di bagian timur daerah permandian air panas Mangolo (Gambar 12a).



Gambar 12. (a) struktur lipatan dan (b) kekar *shear joint* pada metagamping stasiun satu bagian timur daerah Permandian Air Panas Mangolo

2. Struktur kekar

Struktur kekar yang dijumpai di daerah penelitian (ST1) yaitu kekar gerus atau *shear joint*. Kekar gerus ini sangat jelas dijumpai pada metagamping di bagian timur menenggara (Gambar 12b) dan batuan sekis mika di bagian utara barat laut daerah permandian air panas Mangolo. Struktur kekar

yang dijumpai saling berpasangan dengan kedudukan masing-masing N32°E/70° dengan lebar bukaan (3-7 cm) dan N294°E/65° dengan lebar bukaan 0,2-3 cm (Gambar 12b). Keberadaan struktur tersebut sangat intensif, hal ini ditandai dengan keberadaan struktur kekar dalam jumlah yang banyak dan saling berdekatan satu sama lain. Struktur kekar pada batuan metagamping dijumpai sebagai salah satu jalur mata air panas di area permandian air panas Mangolo (Gambar 12b).



Gambar 13. Penciri zona sesar normal, (a) *slicken slide* bagian selatan menenggara dan (b) zona patahan bagian selatan, (c) mata air panas bagian timur menenggara, dan (d) mata air dinding berbau sulfur bagian barat daerah Permandian Air Panas Mangolo

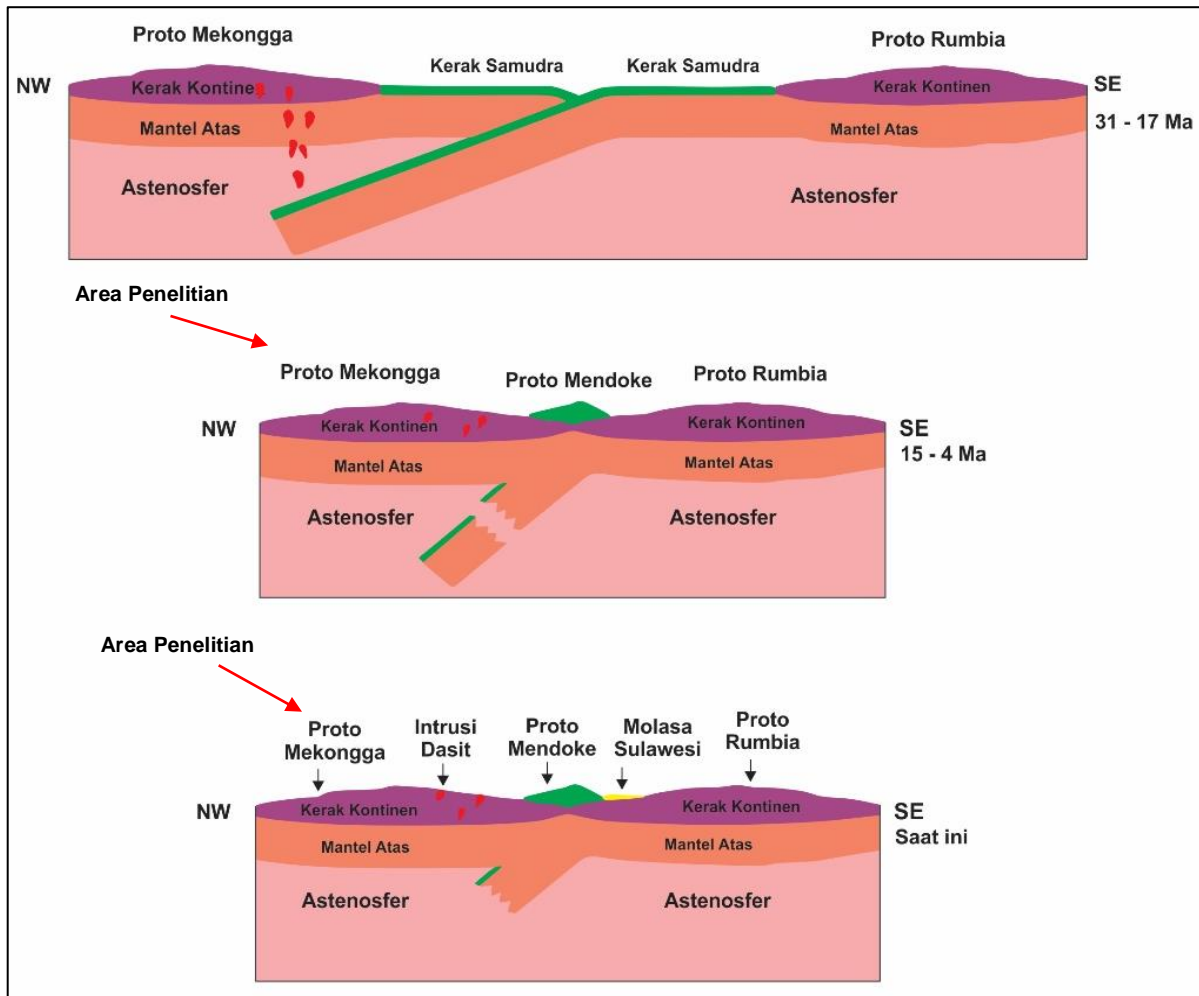
3. Struktur sesar

Jenis sesar yang terbentuk di daerah penelitian yaitu sesar turun. Berdasarkan analisis gaya berat menunjukkan pola struktur dominan berarah barat laut - tenggara [9]. Indikasi yang dijumpai di lapangan yaitu sebagai berikut: cermin sesar atau *Slicken Silde* (Gambar 13a) dengan kedudukan N160°E/70° bagian selatan menenggara stasiun dua (Gambar 9), zona patahan (Gambar 13b) dengan kedudukan N170°E/80° bagian selatan stasiun tiga (Gambar 9), cermin sesar atau *Slicken Silde* dan mata air panas (Gambar 13c) dengan kedudukan N165°E/78° bagian timur menenggara stasiun satu (Gambar 9), mata air dingin berbau sulfur (Gambar 13d) dibagian barat stasiun lima (Gambar 9) yang tepat berada pada zona sesar tersebut. Berdasarkan hasil analisis geologi, awalnya singkapan batuan ini merupakan satu kesatuan yang utuh atau satu singkapan yang sama (Gambar 9). Hal ini ditunjukkan dengan karakter batuan metagamping yang sama dan dengan arah sebaran yang sama pula, namun saat ini terpisahkan oleh sesar normal dan membentuk sungai besar bagian tengah singkapan.

3.3. Mata Air Panas Daerah Permandian Air Panas Mangolo

Mata Air panas merupakan salah satu manifestasi panas bumi yang biasa berasosiasi dengan aktivitas magmatik, vulkanik dan struktur geologi. Pembentukan sistem panas bumi di daratan Sulawesi bagian Tenggara dipengaruhi oleh gabungan antara pengaruh pola struktur geologi dan sisa panas dari aktivitas magmatik muda dan gabungan antara pola struktur geologi dan cekungan sedimen [7]. Daerah penelitian permandian air panas Mangolo merupakan bagian lengan tenggara Sulawesi yang tidak lepas dari aktivitas tektonik dan struktur geologi. Musri [2] menyatakan bahwa Proto Mikro Kontinen Rumbia pernah mengalami subdaksi terhadap Proto Mikro Kontinen Mekongga yang dimulai pada periode Oligosen Akhir (31 Ma) dan kolisi pada 17 Ma. Selanjutnya, terjadi peristiwa extensional pada periode Miosen Tengah (15 Ma) hingga Miosen Akhir (4 Ma) dan diikuti dengan

magmatisme dan terjadi sesar normal di Kompleks Mekongga pada 6.5 Ma hingga 4.4 Ma (Gambar 14). Hal ini menunjukkan bahwa hal inilah yang mengakibatkan terbentuknya struktur geologi seperti lipatan dan sesar serta sistem panas bumi berupa mata air panas di daerah permandian air panas Mangolo.



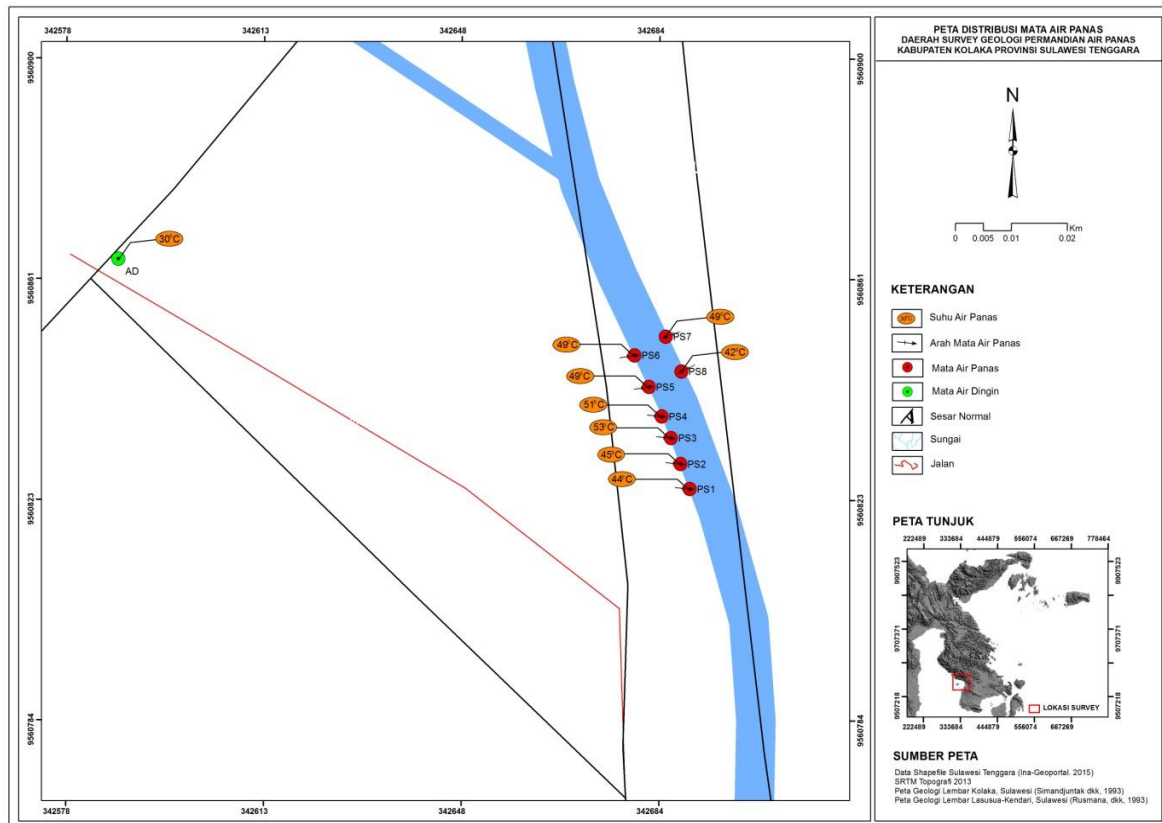
Gambar 14. Model Proto Mikro Kontinen Rumbia mengalami subdaksi hingga kolisi dengan Proto Mikro Kontinen Mekongga dan tanda panah merah adalah area penelitian (modifikasi dari Musri [2]; Mawaleda dkk [3])

Berdasarkan hasil pengamatan lapangan dan analisis sampel batuan yang telah dideskripsi secara megaskopis dan struktur geologi serta mata air panas yang terdapat di beberapa titik sepanjang badan sungai induk menunjukkan bahwa di daerah permandian mata air panas Mangolo telah berkembang sistem panas bumi (Gambar 15). Mata air panas permandian air panas Mangolo yang dijumpai di stasiun satu hadir melalui rongkah atau rekahan batuan metagamping (Gambar 15) dengan arah aliran barat-timur dan timur-barat (Gambar 16). Keberadaan manifestasi panas bumi berupa mata air panas dipermukaan diperkirakan terjadi karena adanya perambatan panas dari permukaan atau karena adanya rekahan-rekahan yang memungkinkan fluida panas bumi mengalir ke permukaan [10]. Secara fisik air panas yang muncul dipermukaan berwarna jernih kehijauan dan berbau sulfur serta memiliki suhu 42-53°C (Gambar 16 dan Tabel 1). Arah aliran mata air panas ini yaitu berarah barat daya-timur laut dan timur laut-barat daya (Gambar 16). Semakin ke utara dan keselatan suhu air panas ini semakin berkurang. Sedangkan suhu yang tertinggi (53°C) berada bagian tengah yaitu PS3 (Gambar 15 & 16 dan Tabel 1). Titik panas tertinggi diduga dekat dengan titik pusat sumber mata air panas, sedangkan bagian utara dan selatan merupakan area yang menjauhi sumber mata air panas itu sendiri (Gambar 15 & 16). Berdasarkan pengukuran temperatur permukaan dari delapan titik mata air panas yang berkisar antara 42°C-53°C, maka sistem panas bumi ini dikategorikan ke dalam temperatur rendah (*Low Temperature Water*). Hal ini merupakan penciri dari mata air panas akibat dari proses tektonik atau daerah non-vulkanik [11][12].



Gambar 15. Mata air panas yang dijumpai di stasiun satu di sungai Permandian Air Panas Mangolo

Fluida panas bumi ini diduga berasal dari aktivitas magmatik dibawah permukaan bumi yang naik ke permukaan. Hal ini didukung oleh data gaya berat yang menunjukkan adanya tubuh batuan beku di kedalaman sekitar lokasi mata air panas [7][9]. Berdasarkan model tektonik peneliti terdahulu menunjukkan aktivitas tektonik yang telah berakhir dengan kolisi dan aktivitas magmatik berakhir pula. Namun keberadaan mata air panas menunjukkan masih terdapat generasi magma yang membawa fluida panas hingga ke permukaan menjadi sumber mata air panas yang dimanfaatkan sebagai permandian air panas Mangolo. Selain itu, daerah ini dikontrol oleh struktur utama yaitu sesar kolaka dan sesar geser disekitarnya yang memotong mata air panas Mangolo (Gambar 4&7). Keberadaan struktur geologi (sesar) tersebut menunjukkan berperan aktif sebagai pengontrol sumber panas dan juga membantu dalam mempercepat naiknya fluida panas ke permukaan. Hal ini sebagaimana dijumpai dilapangan berupa mata air panas pada zona struktur geologi tersebut (Gambar 15&16). Berdasarkan tipe sistem panas bumi yang berada pada area non-vulkanik, maka daerah permandian air panas Mangolo memiliki sistem panas bumi yang dipengaruhi oleh gabungan dari sistem magmatisme dan struktur geologi.



Gambar 16. Peta distribusi mata air panas daerah Permandian Air Panas Mangolo.

Tabel 1. Mata air panas, arah aliran dan temperatur air panas daerah Permandian Air Panas Mangolo

Stasiun	Jenis Mata Air	Arah Aliran (N.... ⁰ E)	Temperatur (⁰ C)
PS1	Mata Air Panas	276	44
PS2	Mata Air Panas	276	45
PS3	Mata Air Panas	276	53
PS4	Mata Air Panas	276	51
PS5	Mata Air Panas	262	49
PS6	Mata Air Panas	262	49
PS7	Mata Air Panas	72	49
PS8	Mata Air Panas	65	42

4. Kesimpulan

Kesimpulan dalam studi geologi dan mata air panas daerah Mangolo terdiri lima hal yaitu sebagai berikut:

- Satuan geomorfologi daerah permandian air panas Mangolo yaitu Satuan Geomorfologi Pegunungan Denudasional dan Satuan Geomorfologi Pedataran Alluvial. Satuan Geomorfologi Pegunungan Denudasional yang ditunjukkan adanya *rock fall* pada batu metagamping dan *gully* erosi sebagai bagian anak sungai pada batuan sekis mika. Sedangkan, Satuan Geomorfologi Pedataran Alluvial ditunjukkan dengan adanya morfologi pedataran dengan hamparan material Alluvial.
- Satuan batuan daerah permandian air panas Mangolo tersusun oleh satuan batuan metagamping berumur Paleosen bagian atas dan satuan batuan sekis mika berumur Permian-Kapur bagian bawah.
- Struktur geologi daerah permandian air panas Mangolo yaitu struktur lipatan berupa minor *fold*, kekar jenis *shear joint* dan sesar normal atau sesar turun yang ditandai dengan hadirnya mata air dipermukaan.
- Air panas daerah permandian air panas Mangolo yaitu hadir melalui ronggah atau rekahan batuan metagamping dengan arah aliran barat-timur dan timur-barat. Suhu air panas yang muncul

dipermukaan yaitu 44-53°C. Semakin keutara dan keselatan suhu air panas ini semakin berkurang. Sedangkan suhu yang tertinggi berada bagian tengah yaitu 53°C. Titik panas tertinggi diduga sebagai titik pusat sumber mata air panas, sedangkan bagian utara dan bagian selatan merupakan area yang menjauhi sumber air panas itu sendiri.

- e. Sistem panas bumi daerah ini terbentuk pada lingkungan non-vulkanik yang dipengaruhi oleh gabungan antara struktur geologi dan sisa magmatisme, umumnya muncul pada batuan metamorf (sekis mika) dan batuan sedimen (batugamping/metagamping) dibagian pedataran.

5. Referensi

- [1] W. Hamilton, “*Tectonic of the Indonesia Region*,” Geological Penelitian Profesional Paper 1078, U.S. Govern. Printing Office, Washington. U.S.G.S. Profesional Paper. 1078: 345, 1979.
- [2] Musri, *Metamorf Rock Evolution of Rumbia Complex, Souhest Arm of Sulawesi and Its Relation to Gold Mineralisation*. Dissertation of ITB (unpublished), 2015.
- [3] M. Mawaleda, E. Suparka, C.I. Abdullah, N.I. Basuki, M. Forster, Jamal, and Kaharuudin, “*Hydrothermal Alteration and Timing of Gold Mineralisation in the Rumbia Complex, Southeast Arm of Sulawesi, Indonesia*,” Transdisciplinary R esearch on Environmental Problems in Southeast Asia. IOP Publishing, 2017.
- [4] Suro, *Geologi Lengan Tenggara Sulawesi*. Badan Geologi Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, Bandung, 2010.
- [5] Suro, *Geologi Lengan Tenggara Sulawesi*. Pusat Survei Geologi, Badan Geologi Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral dan LIPI Press, Menteng, Jakarta, 2013.
- [6] Suro, dan U. Hartono, *Geologi Sulawesi*. Pusat Survei Geologi, Badan Geologi Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral dan LIPI Press, Menteng, Jakarta, 2013.
- [7] D. Hermawan, A. Sugianto, A.Yushantarti, Dahlan, A. Munandar, dan S. Widodo, “*Kajian Panas Bumi Non Vulkanik Daerah Sulawesi Bagian Tenggara*”, Prosiding Hasil Kegiatan Pusat Sumber Daya Geologi, 2011.
- [8] Simandjuntak, Suro, dan Sukido, *Geologi Regional Lembar Kolaka Skala 1: 250.000*. Penerbit Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, 1993.
- [9] E. Suhanto dan Bakrun, “*Studi Kasus Lapangan Panas Bumi Non Vulkanik Di Sulawesi: Pulu, Mamasa, Parara, Dan Mangolo*” Kolokium Hasil Kegiatan Inventarisasi Sumber Daya Mineral – DIM, TA, 2003.
- [10] H. Grupta and S. Roy, *Geothermal Energy*. Amsterdam, Netherland: Elsevier, 2007.
- [11] P. Brophy, *An Introduction to Geothermal Energy*, USA: CGEC Geothermal Outreach Workshop, 2011.
- [12] Raivel, R., & Firman, F. (2020). Karakteristik Endapan Nikel Laterit di Bawah Molasa Sulawesi Daerah Tinanggea, Sulawesi Tenggara. *Jurnal GEOMining*, 1(1), 25-37.