

ANALISIS GEOLOGI STRUKTUR DAN PENGARUHNYA TERHADAP SISTEM HIDROTHERMAL DAERAH SAMBOJA km.38, KUTAI KARTANEGARA

Jamaluddin *, Imanuel Kaunang
Program Studi Geologi, Sekolah Tinggi Teknologi Migas Balikpapan
E-mail: Jamaluddin@sttmigas.ac.id

ABSTRACT

The Samboja Km.38 area in Kutai Kartanegara has the potential for a hydrothermal system influenced by geological structural conditions. This study aims to analyze the geological structures and their impact on the hydrothermal system in the area. The analysis results indicate that the pH value of the hot water ranges from 6.5 to 7.6, total dissolved solids (TDS) range from 502 mg/L to 592 mg/L, and electrical conductivity (EC) ranges from 1005 mS/cm to 1084 mS/cm. The hot water temperature ranges from 37.1°C to 39°C, indicating hydrothermal activity. Geological structural analysis reveals the presence of shear joints with predominant NW-SE and NE-SW orientations, which serve as migration pathways for hydrothermal fluids. These structures facilitate the movement of hot fluids from deeper layers to the surface, contributing to the development of the hydrothermal system in the study area.

Keyword: Hydrothermal, Samboja, Thrust fault, Geological structure.

ABSTRAK

Daerah Samboja Km.38, Kutai Kartanegara memiliki potensi sistem hidrotermal yang dipengaruhi oleh kondisi struktur geologi. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis struktur geologi dan pengaruhnya terhadap sistem hidrotermal di daerah tersebut. Hasil analisis menunjukkan bahwa nilai pH air panas berkisar antara 6,5 hingga 7,6, *total dissolved solids* (TDS) antara 502 mg/L hingga 592 mg/L, serta konduktivitas listrik (EC) antara 1005 mS/cm hingga 1084 mS/cm. Suhu air panas berkisar antara 37,1°C hingga 39°C mengindikasikan adanya aktivitas hidrotermal. Analisis struktur geologi mengungkap keberadaan *shear joint* dengan orientasi utama NW-SE dan NE-SW yang berperan sebagai jalur migrasi fluida hidrotermal. Struktur ini memungkinkan pergerakan fluida panas dari kedalaman menuju permukaan, sehingga berkontribusi terhadap sistem hidrotermal yang berkembang di wilayah penelitian

Katakunci: Hidrotermal, Samboja, Sesar Naik, Struktur geologi.

PENDAHULUAN

Daerah Samboja Km.38 Kabupaten Kutai Kartanegara merupakan salah satu wilayah yang memiliki potensi geologi menarik, khususnya ini terkait dengan keberadaan sistem hidrotermal.

Sistem hidrotermal di suatu daerah sangat dipengaruhi oleh struktur geologi yang berkembang termasuk sesar, lipatan, dan rekahan yang dapat berperan sebagai jalur migrasi fluida panas bumi (Sibson, 1996). Studi mengenai geologi struktur di daerah ini menjadi penting untuk memahami bagaimana faktor tektonik mempengaruhi dinamika fluida hidrotermal dan potensi energi panas bumi.

Patahan dan rekahan yang berkembang dalam suatu sistem geologi dapat meningkatkan permeabilitas batuan memungkinkan fluida panas untuk bergerak lebih efisien. Patahan dengan orientasi tertentu seperti NW-SE dan NE-SW sering kali dikaitkan dengan jalur utama hidrotermal karena sejalan dengan pola tegasan regional (Faulds dkk, 2010). Selain itu, komposisi kimia fluida panas bumi dapat mengalami perubahan akibat proses interaksi batuan-air, pencampuran dengan air permukaan, serta pengaruh gas vulkanik (Nicholson, 1993). Sebagai contoh, keberadaan *shear joint* dalam suatu sistem hidrotermal memungkinkan terjadinya pelepasan ion-ion dari mineral yang terlarut dalam fluida panas bumi yang kemudian mempengaruhi nilai pH dan TDS dari air panas yang muncul di permukaan (Arnórsson, 2000).

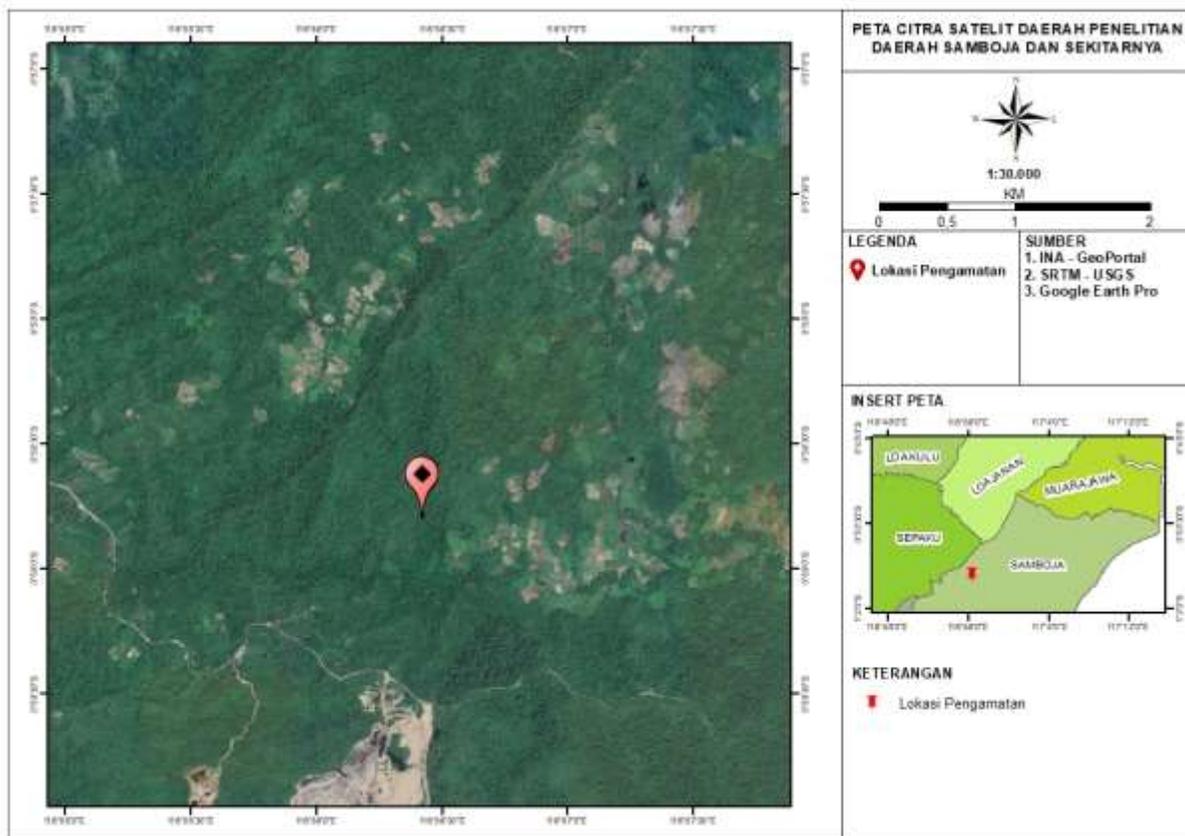
Wilayah Samboja Km.38 Kabupaten Kutai Kartanegara terletak di bagian timur Cekungan Kutai, salah satu cekungan sedimen terbesar di Indonesia yang terbentuk sejak zaman Tersier. Cekungan ini memiliki sejarah tektonik yang kompleks dipengaruhi oleh aktivitas subduksi di lempeng Eurasia dan pergerakan lempeng Indo-Australia (Satyana dkk.,1999). Secara regional, wilayah ini berada dalam lingkungan geologi yang kompleks dipengaruhi oleh aktivitas tektonik yang terus berlangsung (Ramdhan, 2010; Zajuli dkk., 2015). Struktur-struktur geologi yang terbentuk seperti sesar normal, sesar naik, maupun sesar geser berperan dalam mengontrol pergerakan dan akumulasi fluida hidrotermal. Keberadaan zona rekahan juga menjadi faktor penting dalam menentukan potensi panas bumi di daerah ini.

Berdasarkan penelitian sebelumnya, daerah penelitian menunjukkan bahwa suhu mata airpanas bervariasi antara 43°C hingga 48°C dengan pH sumber air panas yang cenderung netral (pH 6 - 6,6) dan memiliki bau belerang (Wibowo dkk., 2021; Jamaluddin dkk., 2021). Suhu yang relatif rendah ini mengindikasikan bahwa sistem hidrotermal di daerah tersebut termasuk dalam kategori panas bumi suhu rendah. Selain itu, fluida yang terkandung menunjukkan konsentrasi tinggi asam borat, klorida, dan komponen lainnya yang menyarankan adanya potensi pemanfaatan dalam industri panasbumi (wita dkk., 2019).

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis struktur geologi yang berkembang di daerah Samboja Km.38 dan mengkaji pengaruhnya terhadap sistem hidrotermal yang ada. Melalui pendekatan pemetaan geologi, analisis citra satelit, serta studi geokimia fluida penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pemahaman sistem panas bumi di wilayah Kutai Kartanegara.

METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian melibatkan pendekatan kualitatif dan kuantitatif untuk memahami hubungan antara struktur geologi dan sistem hidrotermal di daerah tersebut. Penelitian ini diawali dengan studi literatur untuk mengumpulkan informasi tentang geologi regional dan karakteristik hidrotermal yang telah diketahui. Selanjutnya, dilakukan pemetaan geologi di lapangan dengan metode observasi langsung untuk mengidentifikasi jenis batuan, struktur geologi serta manifestasi hidrotermal seperti mata air panas.



Gambar 1. Lokasi pengamatan ditandai dengan simbol merah menunjukkan area penelitian.

Data struktur geologi dianalisis menggunakan *software berupa rocscience Dips 7.0* memahami pola tegasan dan kekar menjelaskan sejarah tegasan yang dialami oleh batuan. Pengukuran suhu, pH, TDS, dan konduktivitas listrik air dilakukan untuk mengkarakterisasi fluida hidrotermal. Hasil dari berbagai metode ini kemudian diintegrasikan untuk memahami mekanisme pengendalian struktur geologi terhadap jalur migrasi fluida hidrotermal di daerah Samboja. Gambar 1 menunjukkan peta topografi daerah Samboja dan sekitarnya yang digunakan dalam penelitian geologi struktur dan sistem hidrotermal.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Sistem Hidrotermal di Daerah Samboja

Berdasarkan data yang diperoleh (Table 1; Gambar 2), kualitas air dari tiga sampel (T.1, T.2, dan T.3) menunjukkan variasi dalam parameter pH, TDS, konduktivitas listrik (EC), dan suhu. Nilai pH berkisar antara 6.5 hingga 7.6, di mana sampel T.1 memiliki nilai tertinggi (7,6) yang bersifat netral hingga sedikit basa, sedangkan T.3 memiliki nilai terendah (6,5) yang sedikit asam. Hal ini mengindikasikan bahwa air di daerah tersebut tidak terlalu dipengaruhi oleh mineralisasi ekstrem yang bersifat asam atau basa.

Total zat terlarut (TDS) dalam air menunjukkan perbedaan antar sampel, di mana T.2 dan T.3 memiliki TDS yang lebih tinggi (592 mg/L) dibandingkan T.1 (502 mg/L). Nilai ini masih dalam rentang mineralisasi sedang hingga tinggi yang kemungkinan besar dipengaruhi oleh interaksi air dengan batuan di bawah permukaan. Konduktivitas listrik (EC) juga menunjukkan pola serupa dengan nilai tertinggi pada sampel T.2 dan T.3 (1084 mS/cm), sementara T.1 sedikit lebih rendah (1005 mS/cm). EC yang tinggi menandakan kandungan ion terlarut yang cukup besar, seperti Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , dan Cl^- yang umumnya berasal dari pelarutan mineral batuan sekitar. Dari parameter suhu, air dalam ketiga sampel memiliki temperatur yang relatif tinggi, berkisar antara 37,1°C hingga 39°C. Sampel T.3 memiliki suhu tertinggi (39°C) yang dapat mengindikasikan bahwa air tersebut lebih dekat dengan sumber panas bumi atau jalur migrasi fluida hidrotermal. Suhu yang cukup tinggi ini menunjukkan bahwa sistem panas bumi di daerah tersebut masih aktif meskipun dalam lingkungan non-vulkanik.

Tabel 1. Karakteristik kimia hidrotermal pada daerah Samboja Kabupaten Kutai Kartanegara

Parameter	Kode Sampel
-----------	-------------

	T.1	T.2	T.3
pH	7.6	6.9	6.5
TDS (mg/L)	502	592	592
EC (mS/cm)	1005	1084	1084
Suhu (°C)	37.6	37.1	39

Secara keseluruhan, karakteristik air pada daerah ini menunjukkan sistem hidrotermal dengan pengaruh struktur geologi yang memungkinkan migrasi fluida panas bumi. Nilai pH yang mendekati netral, TDS dan EC yang cukup tinggi, serta suhu yang relatif panas mengindikasikan bahwa air di lokasi ini mengalami proses pemanasan dari bawah permukaan akibat aktivitas geotermal.



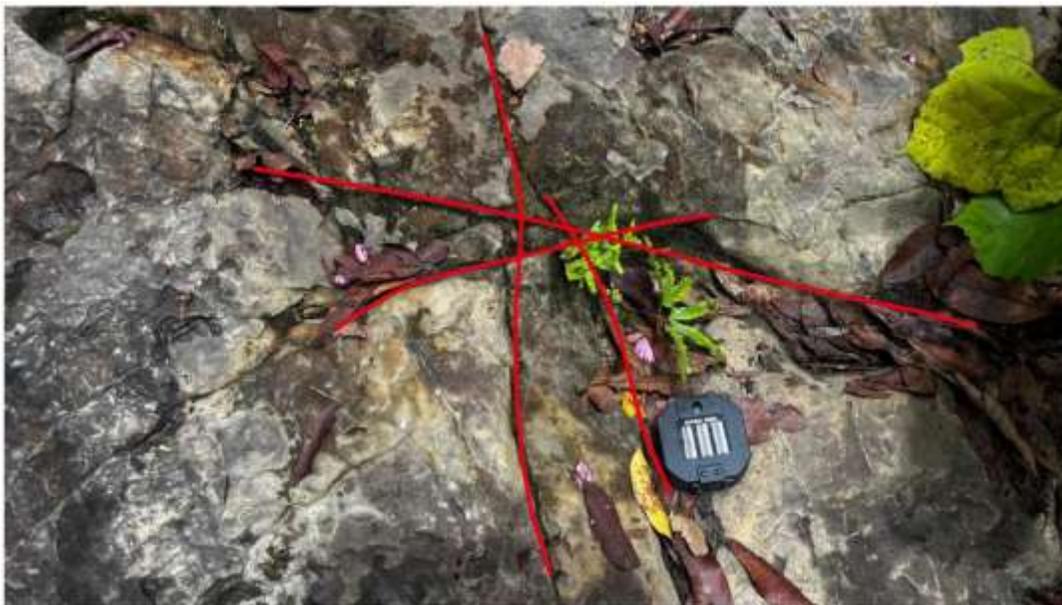
Gambar 2. Titik pengambilan sampel (T.1, T.2, dan T.3)

Pengaruh Struktur Geologi terhadap Sistem Hidrotermal

Daerah Samboja km.38 Kabupaten Kutai Kartanegara memiliki kompleksitas geologi struktur yang sangat mempengaruhi sistem hidrotermal di wilayah tersebut. Formasi batuan di

Artikel diterima 20 Februari 2025. Online 30 Maret 2025.

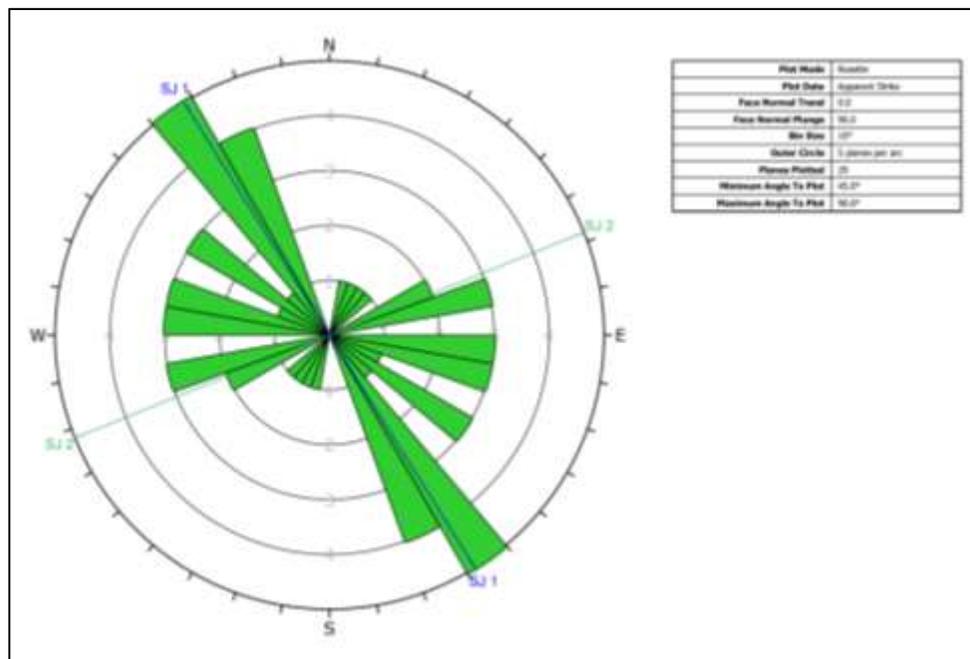
kawasan ini terdiri dari berbagai lapisan sedimen dan intrusi yang telah mengalami deformasi akibat aktivitas tektonik intens sehingga menghasilkan rekahan, sesar, dan lipatan yang dominan. Struktur-struktur ini berfungsi sebagai jalur aliran bagi fluida hidrotermal, di mana sesar-sesar utama dan rekahan dengan permeabilitas tinggi memfasilitasi pergerakan fluida panas yang membawa unsur-unsur mineral. Berdasarkan hasil pengamatan di lapangan menunjukkan pola kekar tampak berpotongan di beberapa titik yang mengindikasikan adanya gaya geologi yang bekerja pada batuan tersebut. Kekar yang berorientasi tidak seragam ini dapat diklasifikasikan sebagai kekar gerus (*shear joint*) yang terbentuk akibat tegasan geser (*shear stress*) yang bekerja dalam sistem tektonik. Kekar gerus ini umumnya terbentuk dalam lingkungan yang mengalami deformasi akibat pergerakan lempeng tektonik baik dalam zona sesar maupun dalam kondisi tegasan diferensial yang tinggi. Kehadiran berbagai arah kekar menunjukkan bahwa batuan ini telah mengalami lebih dari satu fase deformasi. Arah kekar yang berbeda bisa menunjukkan adanya beberapa episode tegangan yang terjadi di lokasi tersebut baik akibat kompresi maupun pergeseran lateral. Pola kekar ini juga dapat berfungsi sebagai jalur migrasi fluida yang mempercepat proses pelapukan dan alterasi batuan. Hal ini terlihat dari adanya tumbuhan kecil yang tumbuh di dalam celah kekar yang menunjukkan bahwa rekahan tersebut cukup dalam menampung air dan nutrisi yang memungkinkan perkembangan vegetasi (Gambar 3).



Gambar 3. Kenampakan kekar gerus pada daerah penelitian.

Kekar gerus (*shear joint*) yang diakibatkan oleh gaya kompresional tektonik yang relatif berarah Tenggara – Baratlaut jika dilihat dari diagram roset (Gambar 4). Dari diagram ini dapat diidentifikasi dua set kekar utama yang ditandai sebagai SJ1 dan SJ2 yang mencerminkan pola tegasan yang pernah bekerja pada batuan di lokasi penelitian. Set kekar pertama (SJ1) memiliki orientasi dominan pada arah NNW-SSE (sekitar 340° - 160°). Distribusi ini menunjukkan bahwa kekar dengan arah tersebut lebih sering ditemukan dan memiliki intensitas yang lebih tinggi dibandingkan orientasi lainnya. Kekar ini kemungkinan besar terbentuk sebagai hasil dari tegasan utama yang bekerja dalam sistem tektonik daerah ini yang mungkin berkaitan dengan kompresi regional atau aktivitas sesar yang mempengaruhi perkembangan struktur rekahan.

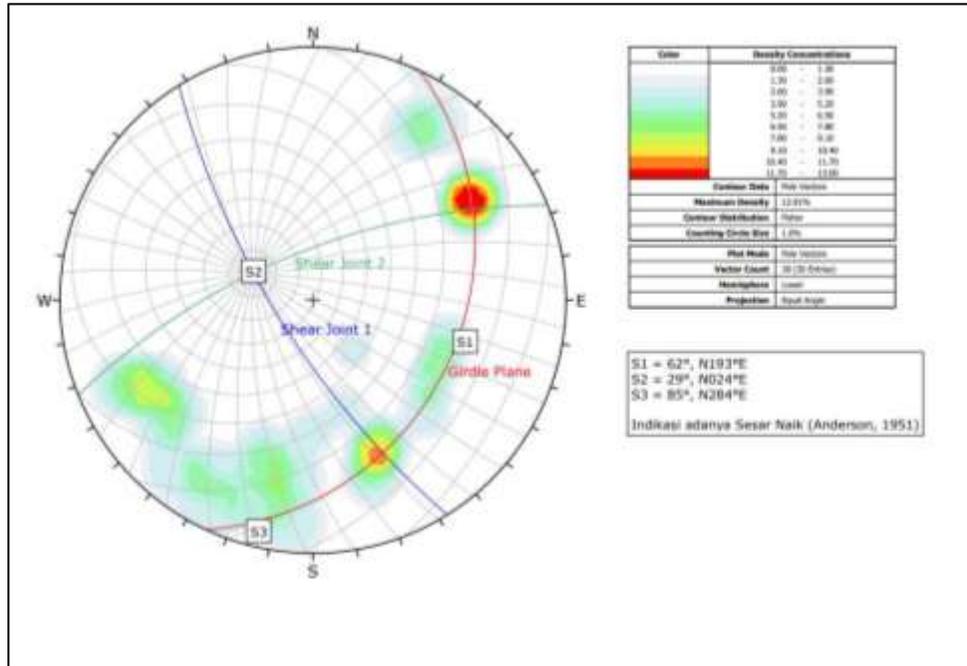
Sementara itu, set kekar kedua (SJ2) memiliki orientasi dominan pada arah ENE-WSW (sekitar 70° - 250°). Intensitas kekar pada set ini lebih rendah dibandingkan SJ1 tetapi tetap menunjukkan pola yang signifikan. Kekar ini kemungkinan terbentuk sebagai rekahan sekunder yang berkembang akibat tegasan yang bekerja tegak lurus terhadap kekar utama. Pola ini dapat menunjukkan adanya gaya ekstensional atau pergeseran lateral yang turut berperan dalam proses deformasi batuan. Keberadaan dua set kekar ini mengindikasikan bahwa daerah penelitian telah mengalami lebih dari satu fase deformasi tektonik. Pola kekar yang saling berpotongan sering kali dikaitkan dengan sejarah tegasan yang kompleks, di mana suatu wilayah mengalami perubahan rezim tegasan seiring waktu.



Gambar 4. Diagram roset kekar yang menunjukkan distribusi orientasi rekahan di daerah penelitian. Diagram ini mengindikasikan dua set kekar utama, yaitu SJ1 dengan orientasi NNW-SSE (340° - 160°) dan SJ2 dengan orientasi ENE-WSW (70° - 250°).

Dari hasil proyeksi menggunakan metode stereografis di dapatkan hasil arah tegasan utama maksimal ($\sigma_1 = 62^{\circ}$, N193°E), tegasan utama menengah ($\sigma_2 = 29^{\circ}$, N024°E) dan tegasan utama minimum ($\sigma_3 = 85^{\circ}$, N284°E) (Gambar 5). Hasil tersebut mengindikasikan adanya sesar naik yang berkembang pada daerah penelitian menurut skema klasifikasi Anderson (1951). Secara tektonik, Cekungan Kutai merupakan salah satu cekungan sedimenter terbesar di Indonesia yang terbentuk akibat regim ekstensional sejak Mesozoikum hingga Paleogen diikuti oleh aktivitas kompresional yang lebih muda pada kala Neogen hingga Kuartar. Aktivitas tektonik ini menyebabkan terbentuknya struktur-struktur geologi utama seperti sesar geser dan sesar naik yang mengontrol pola rekahan dan sistem panas bumi di daerah Samboja. Kehadiran sesar naik ini memiliki implikasi penting terhadap sistem panas bumi karena sesar dan rekahan yang terbentuk dapat berfungsi sebagai jalur permeabilitas bagi fluida hidrotermal yang berasal dari kedalaman.

Keterkaitan antara struktur rekahan di daerah Samboja dengan evolusi tektonik Cekungan Kutai menjadi faktor kunci dalam memahami sistem panas bumi di wilayah ini. Dalam sejarah tektoniknya, Cekungan Kutai mengalami fase pemekaran yang diikuti oleh kompresi akibat interaksi antara Lempeng Indo-Australia dan Eurasia yang menghasilkan struktur-struktur geologi kompleks termasuk pola sesar naik yang teridentifikasi dalam diagram ini. Aktivitas sesar ini tidak hanya berperan dalam membentuk perangkap struktural bagi akumulasi hidrokarbon di cekungan ini, tetapi juga dalam menciptakan jalur migrasi fluida panas bumi. Dengan adanya sesar naik yang berfungsi sebagai zona permeabilitas tinggi, fluida panas bumi dapat naik ke zona yang lebih dangkal membentuk sistem hidrotermal yang potensial untuk eksplorasi energi panas bumi.



Gambar 5. Diagram stereografik yang menunjukkan orientasi bidang rekahan dan sesar di daerah panas bumi Km.38 Samboja.

Jika ditinjau dari geologi regional, potensi fluida panas bumi dapat diinterpretasikan berasal dari sistem cekungan sedimen tua atau sistem *overpressured* pada cekungan sedimen akibat dari pembebanan (*burial*) dari material sedimen di atasnya. Panas yang dihasilkan tersebut kemungkinan kontak dengan water table atau muka air tanah sehingga menghasilkan fluida hidrothermal. Fluida hidrothermal tersebut muncul ke permukaan sebagai salah satu manifestasi panas bumi berupa mata air panas. Fluida tersebut dapat naik ke permukaan akibat kontrol dari struktur yang berkembang pada daerah penelitian.

KESIMPULAN

Hasil analisis geokimia menunjukkan bahwa air memiliki suhu relatif tinggi (37,1°C – 39°C), nilai pH yang berkisar antara netral hingga sedikit asam (6,5 – 7,6), serta kandungan *Total Dissolved Solids* (TDS) dan *Electrical Conductivity* (EC) yang cukup tinggi. Tingginya nilai TDS (502 – 592 mg/L) dan EC (1005 – 1084 mS/cm) menunjukkan bahwa fluida hidrothermal mengalami proses interaksi yang kuat dengan batuan di bawah permukaan, menyebabkan pelepasan ion-ion terlarut dalam jumlah yang signifikan. Nilai suhu yang tinggi mengindikasikan adanya sumber panas dari dalam bumi yang memanaskan air tanah, yang kemudian mengalami sirkulasi akibat adanya rekahan atau sesar sebagai jalur migrasi fluida. Pola *shear joint* yang

Artikel diterima 20 Februari 2025. Online 30 Maret 2025.

teridentifikasi mengindikasikan adanya pengaruh tegasan tektonik regional yang berhubungan dengan dinamika Cekungan Kutai. Keberadaan sesar naik yang teridentifikasi dalam stereonet serta distribusi kekar gerus (*shear joint*) menunjukkan bahwa fluida hidrotermal kemungkinan besar terdorong ke permukaan melalui jalur-jalur rekahan yang terbentuk akibat gaya kompresional.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terimakasih disampaikan kepada tim Prodi Geologi STT Migas Balikpapan yang telah membantu kegiatan pengambilan dan pengukuran sampel di lapangan. Ucapan terimakasih juga disampaikan kepada pihak-pihak yang sudah membantu dalam penyusunan laporan ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Anderson. (1951). *The Dynamics of Faulting and Dyke Formation with Applications to Brittan*, Edinburgh, Oliver and Boyd.
- Arnórsson, S. (2000). *Isotopic and chemical techniques in geothermal exploration, development, and use*. International Atomic Energy Agency (IAEA).
- Faulds, J. E., Coolbaugh, M. F., Benoit, D., dan Oppliger, G. L. (2010). Structural controls of geothermal activity in the northern Basin and Range, western USA: Implications for geothermal exploration in extended terranes. *Geothermal Resources Council Transactions*, 34, 897-904.
- Jamaluddin, Prabowo, I., Maria (2021) Karakteristik Fisik Mataair Panas Daerah Samboja, Kutai Kartanegara. *PETROGAS: Journal of Energy and Technology*, 3(2): 51-58.
- Nicholson, K. (1993). *Geothermal fluids: Chemistry and exploration techniques*. Springer.
- Ramdhan, A.M., (2010). Overpressure And Compaction In The Lower Kutai Basin, Indonesia. Doctoral Thesis, Durham University.
- Satyana, A.H., Nugroho, D., Surantoko, I. (1999). Tectonic controls on the hydrocarbon habitats of the Barito, Kutei, and Tarakan Basins, Eastern Kalimantan, Indonesia : major dissimilarities in adjoining basins. *Journal of Asian Earth Sciences*, 17: 111-121.
- Sibson, C. W. (1996) Structural permeability of fluid-driven fault-fracture meshes. *Journal of Structural Geology*, 18(8): 1031-1042. [https://doi.org/10.1016/0191-8141\(96\)00032-6](https://doi.org/10.1016/0191-8141(96)00032-6)
- Wibowo, A. E. A., Hadi, M. N., Risdianto, D. (2021) Sistem Panas Bumi Temperatur Rendah-Sedang pada Cekungan Kutai dan Rekomendasi Pemanfaatannya. *Buletin Sumber Daya Geologi*, 16(2): 133-151
- Wita, L.M., Syafri, I., Yoseph, B., dan Wibowo, A.E.A. (2019) Karakteristik Hidrokimia Untuk Mengetahui Sistem Dan Pemanfaatan Fluida Panas Bumi Daerah Kutai Kartanegara, Kalimantan Timur. *Padjajaran Geoscience Journal*, 3(5): 361–368.
- Zajuli, M.H.H., Irawan, D., Permana, A.K., Kusworo, A., Wahyudiono, J., Hamzah, A., Saragih, R., Hermanto, B., Firdaus, M., dan Arifin, A.S. (2015) Karakteristik Serpik Gas (Shale Artikel diterima 20 Februari 2025. Online 30 Maret 2025.

Gas) dan Potensinya di Cekungan Kutai dan Cekungan Akimeugah. Kolokium Pusat Survei Geologi. Bandung.