

Intepretasi Struktur Geologi Berdasarkan Analisis *Fault Fracture Density* dan Kaitannya Terhadap Potensi Mineralisasi

¹Imanuel Kaunang, ²Budi Wiyono, ³Eliza Putri Andrean, ⁴Iwan Prabowo.

^{1,2,3,4} Program Studi Geologi, Sekolah Tinggi Teknologi Migas Balikpapan, Indonesia

Email: ¹academics.imanuel@gmail.com, ²Budiw229@gmail.com, ³elizaptrii@gmail.com,
⁴iwan.prabowo@sttmigas.ac.id

ARTICLE INFO

Article History:

Received : 06-03-2025
Revised : 21-06-2025
Accepted : 22-06-2025
Online : 23-06-2025

Keywords:

Struktur geologi;
Fault Fracture Density;
DEMNAS;
Mineralisasi.



ABSTRACT

Abstract: Geological structures are frequently associated with the formation of valuable mineral deposits, often triggered by the upwelling of hydrothermal fluids through zones of weakness. This study aims to identify the geological structures in the area and delineate regions that exhibit significant mineralization potential. The Fault Fracture Density (FFD) method is employed to detect zones of weakness based on fracture density. Data collection was carried out through direct field measurements of geological structures, supported by lineament intensity data derived from the National Digital Elevation Model (DEMNAS). Geological data were processed using stereographic methods to accurately identify the active structures in the study area, while DEMNAS imagery was analyzed with PCI Geomatica 2014 and ArcGIS 10.7.1. The geological structure analysis reveals fractures indicative of strike-slip, reverse, and normal faulting. Identified fault structures include Right Normal Slip Fault, Lag Left Slip Fault, Lag Right Slip Fault, Normal Slip Fault, and Left Lag Slip Fault. Moreover, the fracture density analysis indicates that areas from the northwest to the northeast, the eastern sector, and from the south to the southwest exhibit promising potential for mineralization.

Abstrak: Keberadaan struktur geologi seringkali dikaitkan dengan adanya potensi suatu endapan mineral berharga yang dipicu oleh naiknya fluida hidrotermal melalui zona-zona lemah. Studi ini bertujuan untuk mengidentifikasi struktur geologi, serta menentukan area-area yang menunjukkan potensi mineralisasi. Metode *Fault Fracture Density* (FFD) digunakan untuk mengetahui zona-zona lemah berdasarkan densitas rekahan. Pengambilan data dilakukan pengukuran struktur geologi secara langsung di lapangan, dengan dukungan data intensitas kelurusan dari citra *Digital Elevation Model* Nasional (DEMNAS). Pengolahan data struktur geologi menggunakan metode stereografis untuk mengidentifikasi struktur geologi yang berperan di daerah penelitian, pengolahan data citra DEMNAS menggunakan *software* PCI Geomatica 2014 dan ArcGIS 10.7.1. Hasil analisis struktur geologi menunjukkan kekar-kekar yang mengindikasikan adanya sesar mendatar, sesar naik dan sesar turun. Struktur sesar yang diidentifikasi berupa *Right Normal Slip Fault*, *Lag Left Slip Fault*, *Lag Right Slip Fault*, *Normal Slip Fault*, dan *Left Lag Slip Fault*. Hasil analisis densitas rekahan menunjukkan daerah-daerah pada bagian barat laut sampai timurlaut, bagian timur dan bagian selatan sampai baratdaya merupakan daerah berpotensi akan mineralisasi.



<https://doi.org/10.31764/justek.vXiY.ZZZ>



This is an open access article under the [CC-BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license



A. LATAR BELAKANG

Daerah penelitian yang berada di daerah Kecamatan Batu Sopang, Kabupaten Paser, Provinsi Kalimantan Timur secara regional masuk ke Cekungan Kutai yang tersusun atas satuan batuan berumur Jura – Kapur, dengan struktur geologi yang berkembang berupa kekar mayor dan sesar sesar lokal. Struktur geologi sering kali berperan dalam proses pembentukan dan pengendapan mineral, sehingga keberadaan suatu struktur geologi kerap dikaitkan dengan adanya aktivitas mineralisasi. Daerah Batu Sopang merupakan daerah yang memiliki potensi akan adanya suatu endapan mineral ekonomis karena memiliki karakteristik geologi yang cukup kompleks, mulai dari susunan stratigrafi hingga ke proses tektonik yang terjadi. Akan tetapi, masih sedikit sekali penelitian yang membahas akan potensi mineralisasi pada daerah tersebut.

Secara regional, kerangka tektonik di Kalimantan bagian timur dipengaruhi oleh perkembangan tektonik regional yang melibatkan interaksi antara Lempeng Pasifik, Lempeng India-Australia dan Lempeng Eurasia, serta dipengaruhi oleh tektonik regional di asia bagian tenggara (Biantoro et al., 1992 dalam Aqsha, dkk., 2017). Kegiatan Tektonik daerah ini diduga berlangsung semenjak Jura. Akibatnya batuan yang berumur pra-Jura, yaitu batuan ultrabasa, mengalami alih tempat, pelipatan dan penyesaran (Hidayat. S dan Umar. I., 1994).

Maksud dari penelitian ini adalah melakukan interpretasi kelurusan berdasarkan data *Digital Elevation Model* Nasional (DEMNAS) dan studi mengenai struktur geologi yang bertujuan untuk menghasilkan suatu data interpretasi awal mengenai kondisi geologi yang ada di daerah penelitian. Penelitian ini diharapkan dapat menjadi data awal dalam tahap eksplorasi endapan mineral ekonomis pada daerah selatan dari Kalimantan Timur, tepatnya di daerah Batu Sopang, Kabupaten Paser.

B. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan 2 (dua) metode utama, yaitu analisis *fault fracture density* (FFD) dan kegiatan pemetaan geologi.

1. Metode *Fault Fracture Density* (FFD)

Analisis penginderaan jauh menggunakan metode FFD akan menghasilkan peta densitas kelurusan pada daerah penelitian. Kelurusan-kelurusan yang teridentifikasi diinterpretasikan sebagai sesar dan rekahan, yang berfungsi sebagai zona-zona lemah untuk jalur fluida hidrotermal. Metode delineasi kelurusan otomatis yang mengimplementasikan algoritma *LINE* dari Thannoun (2013) menggunakan *software* PCI Geomatica 2014 diterapkan dalam studi ini.

Tabel 1. Nilai *default* pada masing-masing parameter pada PCI Geomatica 2016 (Thannoun R. G., 2013)

Parameter	Nilai Input
RADI (<i>Filter Radius</i>)	5
GTHR (<i>Gradient Threshold</i>)	75
LTHR (<i>Length Threshold</i>)	10
FTHR (<i>Line Fitting Error Threshold</i>)	2
ATHR (<i>Angular Difference Threshold</i>)	20
DTHR (<i>Linking Distance Threshold</i>)	1

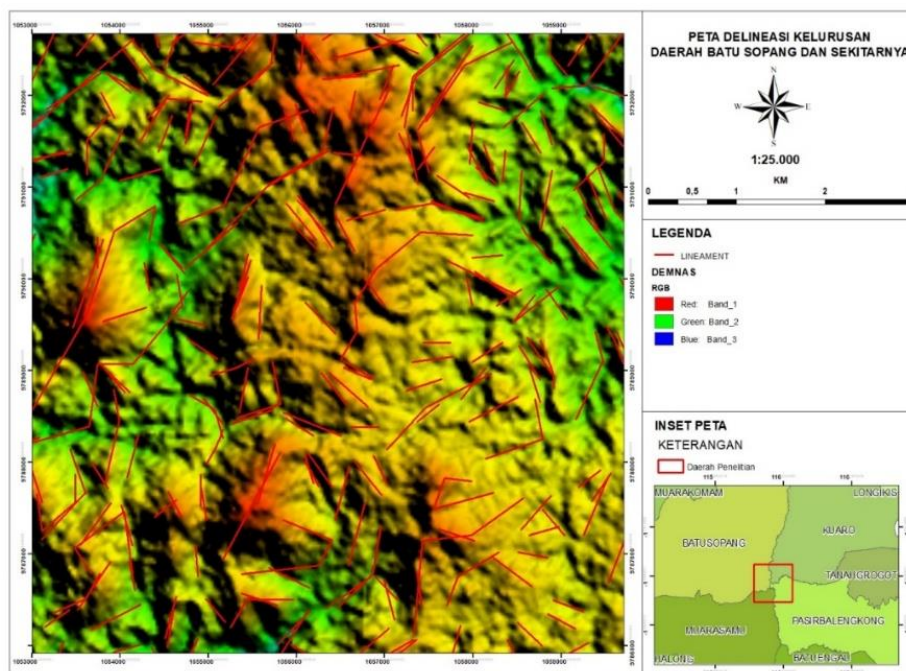
2. Pemetaan Geologi

Kegiatan lapangan dilakukan untuk pengambilan data-data lapangan seperti data struktur geologi. Kegiatan ini menghasilkan data mengenai sebaran struktur geologi pada daerah penelitian berdasarkan observasi lapangan.

C. HASIL DAN PEMBAHASAN

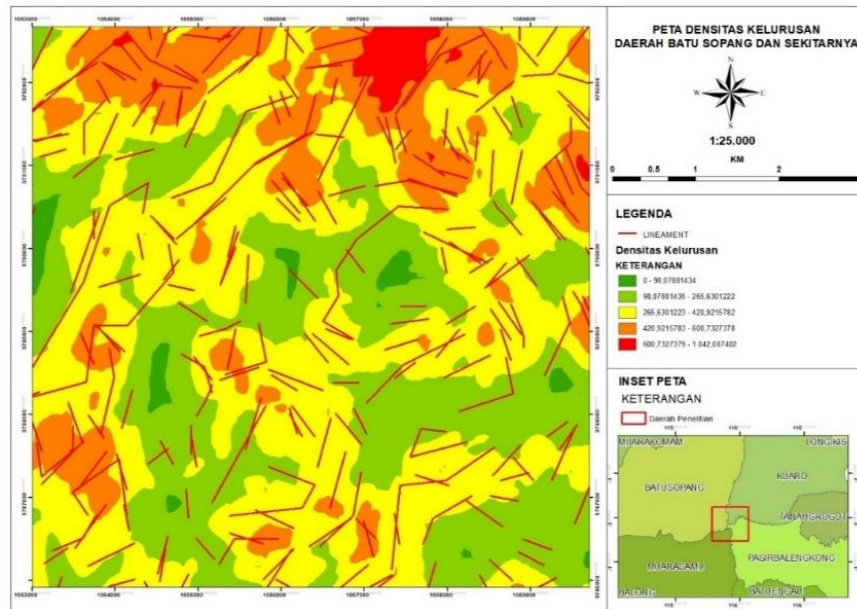
1. Analisis *Lineament Density*

Analisis kelurusan dilakukan dengan menggunakan 4 arah penyinaran azimuth, yakni menggunakan azimuth N045°E, N135°E, N225°E dan N315°E. Standar nilai algoritma yang digunakan dalam delineasi kelurusan ini merujuk pada pedoman yang ditetapkan oleh Thannoun (2013). Kelurusan yang dihasilkan kemudian diberikan bobot nilai dengan fungsi *tool raster calculator* menggunakan *software* ArcGIS 10.7.1. Dari hasil pengolahan data, didapatkan delineasi kelurusan yang dominan berorientasi timurlaut-baratdaya (NE-SW). Hasil dari kelurusan tersebut dapat diinterpretasikan sebagai morfologi punggung atau lembahan, yang kemudian disajikan dalam bentuk peta delineasi Kelurusan (Gambar 1).



Gambar 1. Peta Delineasi Kelurusan daerah penelitian.

Analisis selanjutnya dilakukan dengan menggunakan data utama berupa shape file kelurusan yang telah didelineasi, kemudian diproses dalam *software* ArcGIS 10.7.1 menggunakan fungsi *Line Density*. Fungsi ini menghitung densitas kelurusan berdasarkan radius kerapatan spasial, serta melakukan interpolasi untuk mengidentifikasi wilayah dengan nilai densitas yang serupa. Selanjutnya, peta densitas ini di overlay dengan shapefile kelurusan guna mengamati sebaran wilayah dengan densitas tinggi. Hasil analisis menunjukkan bahwa daerah dengan kelurusan tinggi, yang ditandai dengan warna oranye hingga kemerahan, terutama terletak di bagian barat laut sampai timur laut juga pada bagian barat daya daerah penelitian (Gambar 2).



Gambar 2. Peta Densitas Kelurusan daerah penelitian.

2. Analisis Struktur Geologi

Berdasarkan hasil pemetaan lapangan, ditemukan struktur berupa kekar dan indikasi keberadaan sesar di daerah penelitian.

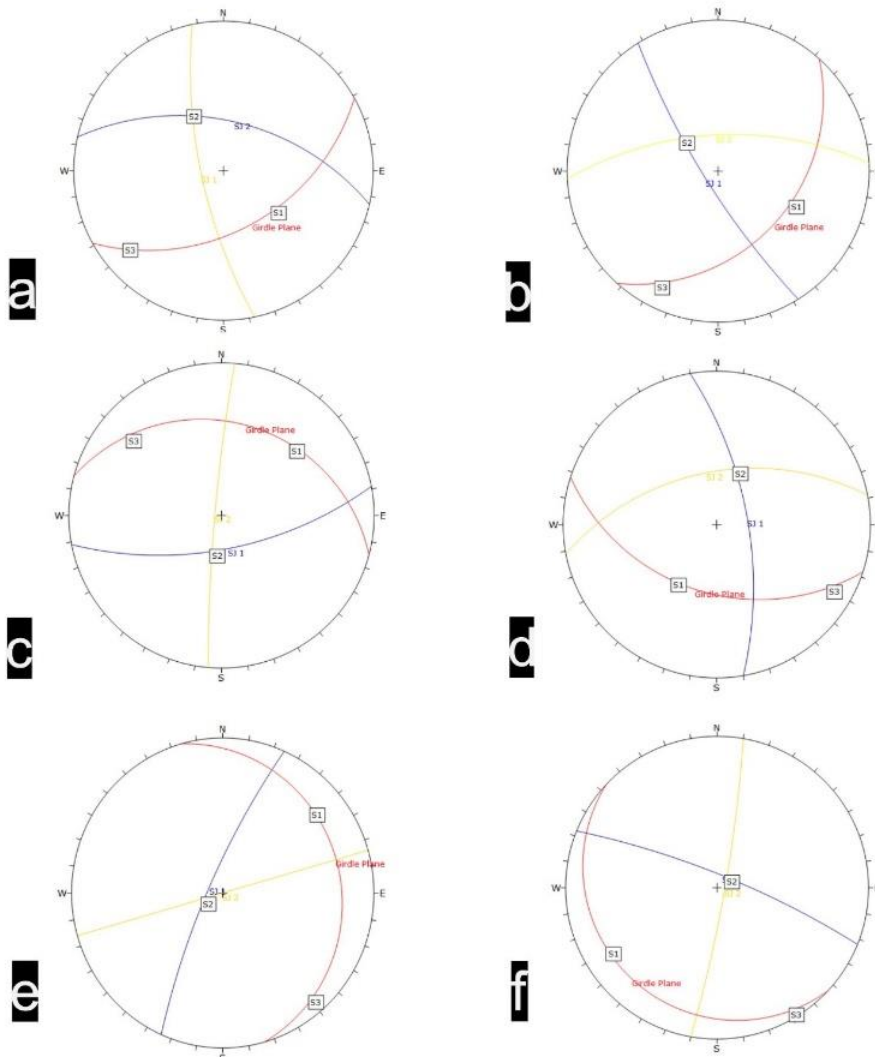
a. Kekar

Struktur kekar dijumpai pada 12 stasiun daerah penelitian pada bagian baratdaya sebanyak 7 stasiun, tenggara 1 stasiun, timurlaut-timur sebanyak 4 stasiun. Struktur kekar yang ada pada daerah penelitian sebagian besar berupa kekar gerus (*shear joint*) yang mana pola pola kekar terlihat saling memotong dan dominan berkembang pada litologi batuan kristalin seperti serpentinit dan andesit.

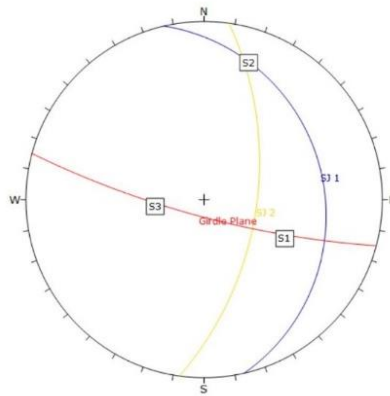
Tabel 2. Analisis data kekar

STA	Tegasan Utama	Arah Tegasan	Pendekatan Sesar (Anderson, 1952)
1	$\sigma_1 = 40^\circ, N127^\circ E$ $\sigma_2 = 44^\circ, N330^\circ E$ $\sigma_3 = 11^\circ, N229^\circ E$	Utara - Selatan	Sesar Mendatar
4	$\sigma_1 = 34^\circ, N113^\circ E$ $\sigma_2 = 53^\circ, N311^\circ E$ $\sigma_3 = 10^\circ, N109^\circ E$	Baratlaut - Tenggara	Sesar Mendatar
6	$\sigma_1 = 40^\circ, N114^\circ E$ $\sigma_2 = 15^\circ, N015^\circ E$ $\sigma_3 = 55^\circ, N269^\circ E$	Utara - Selatan	Sesar Naik
11	$\sigma_1 = 61^\circ, N326^\circ E$ $\sigma_2 = 12^\circ, N212^\circ E$ $\sigma_3 = 23^\circ, N115^\circ E$	Timurlaut - Baratdaya	Sesar Normal
13	$\sigma_1 = 23^\circ, N046^\circ E$ $\sigma_2 = 62^\circ, N195^\circ E$ $\sigma_3 = 11^\circ, N310^\circ E$	Timur - Barat	Sesar Mendatar
21	$\sigma_1 = 40^\circ, N229^\circ E$ $\sigma_2 = 48^\circ, N018^\circ E$ $\sigma_3 = 09^\circ, N119^\circ E$	Utara - Selatan	Sesar Mendatar

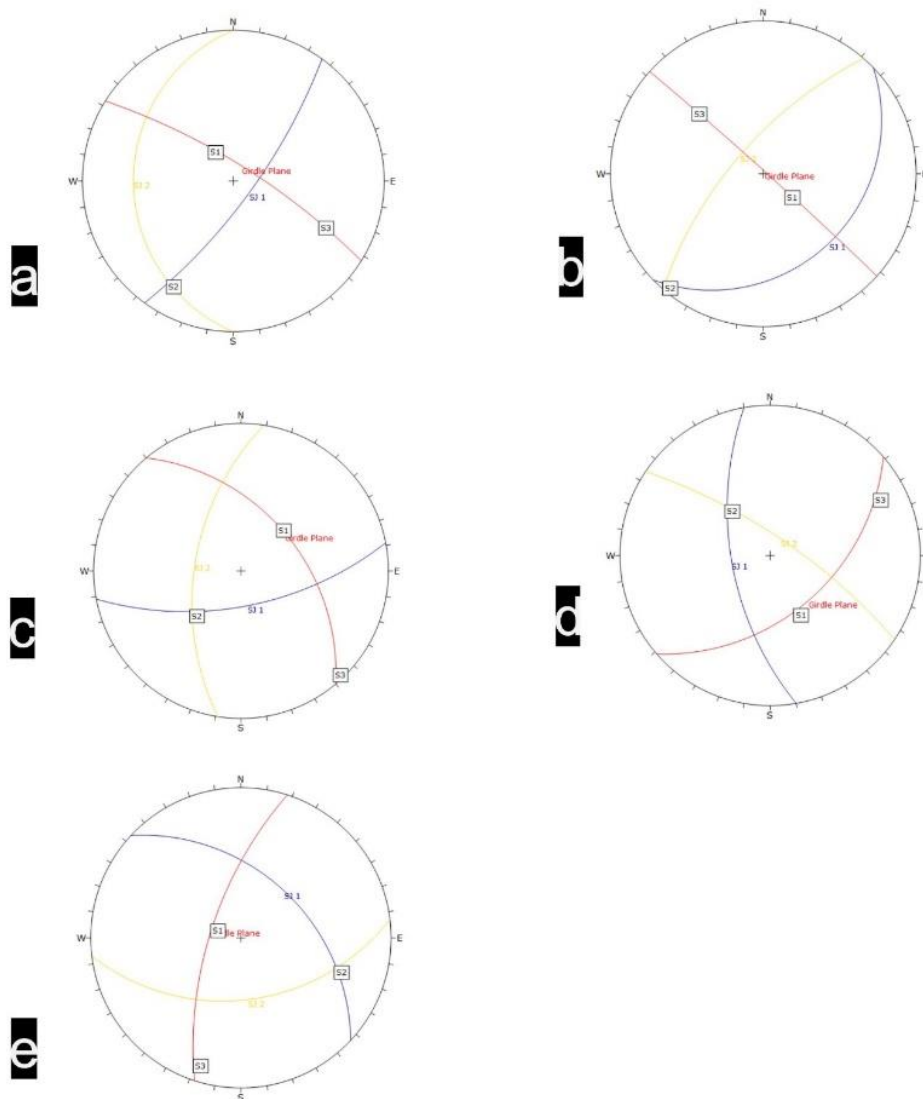
38	$\sigma_1 = 66^\circ, N130^\circ E$ $\sigma_2 = 01^\circ, N221^\circ E$ $\sigma_3 = 26^\circ, N312^\circ E$	Timurlaut - Baratdaya	Sesar Normal
47	$\sigma_1 = 12^\circ, N048^\circ E$ $\sigma_2 = 75^\circ, N253^\circ E$ $\sigma_3 = 05^\circ, N138^\circ E$	Utara - Selatan	Sesar Mendatar
50	$\sigma_1 = 46^\circ, N040^\circ E$ $\sigma_2 = 43^\circ, N230^\circ E$ $\sigma_3 = 04^\circ, N136^\circ E$	Timur - Barat	Sesar Normal
95	$\sigma_1 = 45^\circ, N115^\circ E$ $\sigma_2 = 43^\circ, N318^\circ E$ $\sigma_3 = 11^\circ, N059^\circ E$	Timurlaut - Baratdaya	Sesar Normal
110	$\sigma_1 = 67^\circ, N294^\circ E$ $\sigma_2 = 22^\circ, N108^\circ E$ $\sigma_3 = 07^\circ, N201^\circ E$	Timurlaut - Baratdaya	Sesar Normal
131	$\sigma_1 = 10^\circ, N240^\circ E$ $\sigma_2 = 79^\circ, N043^\circ E$ $\sigma_3 = 03^\circ, N149^\circ E$	Baratlaut - Tenggara	Sesar Mendatar



Gambar 3. Hasil analisis data kekar: (a) Stasiun 1, (b) Stasiun 4, (c) Stasiun 13, (d) Stasiun 21, (e) Stasiun 47, (f) Stasiun 131.



Gambar 4. Hasil analisis data kekar stasiun 6



Gambar 5. Hasil analisis data kekar: (a) Stasiun 11, (b) Stasiun 38, (c) Stasiun 50, (d) Stasiun 95, (e) Stasiun 110.

b. Sesar

Struktur sesar pada daerah penelitian berada pada bagian timurlaut dan tenggara, struktur penyerta sesar seperti kekar, gores garis, breksiasi, maupun

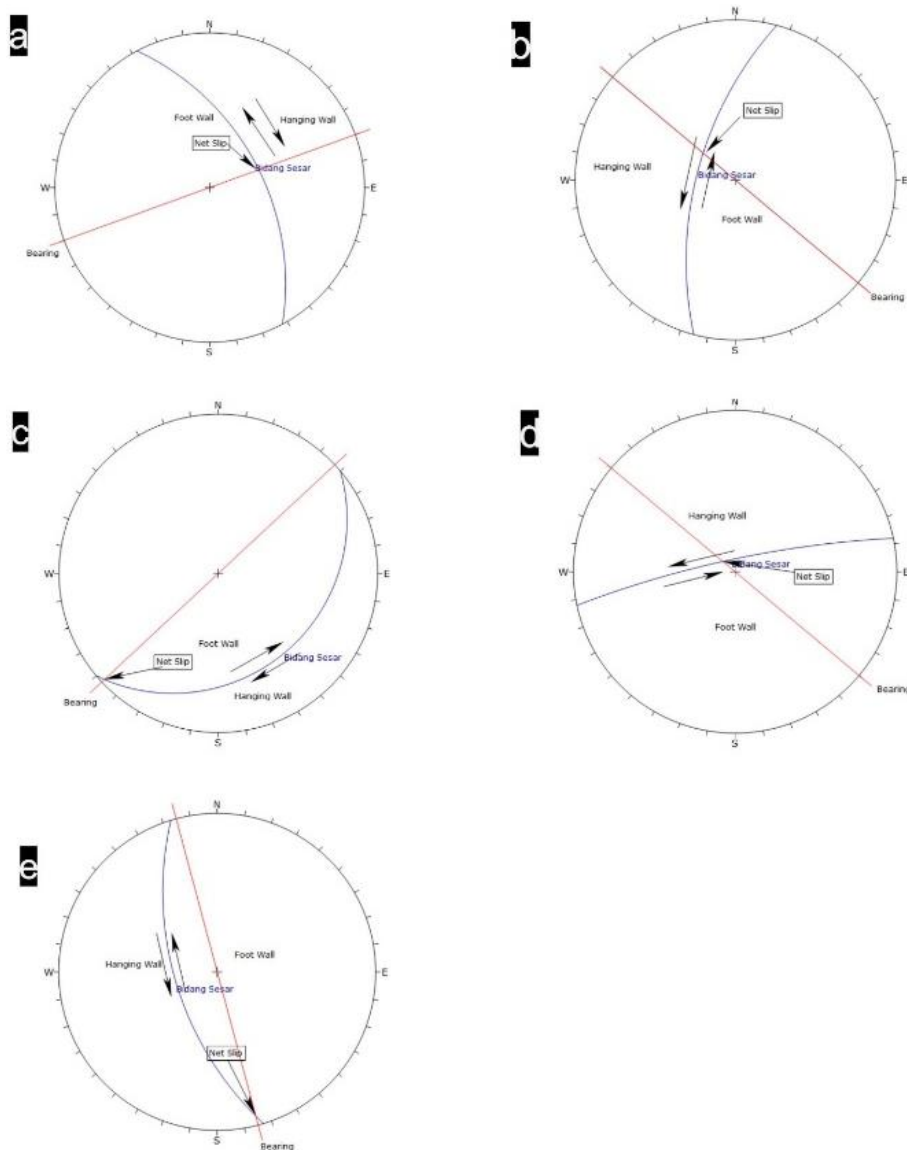
bidang sesar itu sendiri berkembang pada litologi serpentinit. Struktur-struktur tersebut diukur untuk memperoleh data-data sesar seperti nilai bidang sesar dan nilai arah tunjaman serta sudut penunjaman. Hasil analisis sesar menunjukkan struktur sesar dominan di kontrol oleh rezim tektonik strike-slip.

Tabel 3. Analisis data sesar

STA	Bidang Sesar	Jenis Sesar (Rickard, 1971)	Rezim	Tegasan Utama
38	N335°E/57°	<i>Right Normal Slip Fault</i>	Transtensional	Utara - Selatan
42	N105°E/27°	<i>Lag Left Slip Fault</i>	Strike-slip	Timur - Barat
54	N050°E/24	<i>Lag Right Slip Fault</i>	Strike-slip	Timurlaut - Baratdaya
95	N258°E/81°	<i>Normal Slip Fault</i>	Ekstensional	Barat - Timur
110	N163°E/60°	<i>Left Lag Slip Fault</i>	Strike-slip	Timur - Barat



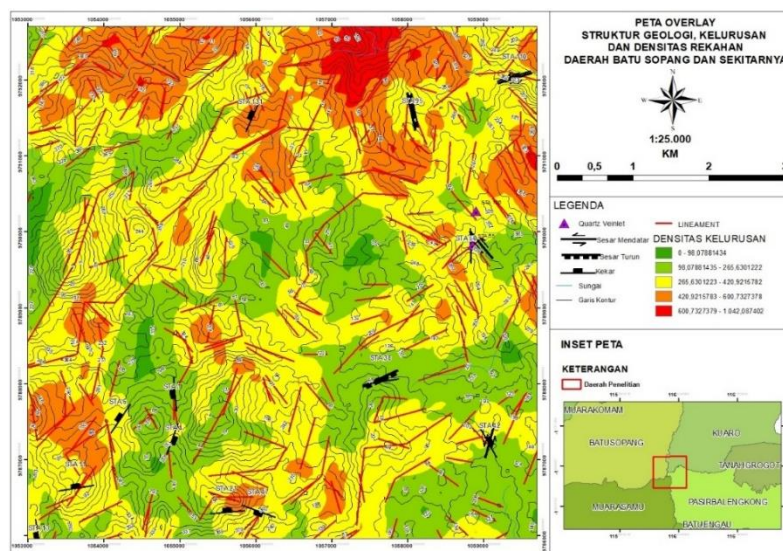
Gambar 6. Foto kenampakan struktur sesar beserta struktur penyerta sesar: (a) Stasiun 38, (b) Stasiun 42, (c) Stasiun 54, (d) Stasiun 95, (e) Stasiun 110.



Gambar 7. Hasil analisis sesar: (a) Stasiun 38, (b) Stasiun 42, (c) Stasiun 54, (d) Stasiun 95, (e) Stasiun 110.

3. Daerah Potensi Mineralisasi

Berdasarkan peta *overlay*, daerah dengan densitas rekahan sedang (ditandai dengan area warna kuning) cenderung berasosiasi dengan keberadaan struktur geologi utama, seperti kekar dan sesar serta kelurusan-kelurusan yang memotong di wilayah ini. Daerah dengan densitas rekahan tinggi-sangat tinggi (ditandai dengan area warna oranye sampai kemerahan) hampir tidak memiliki struktur geologi yang berkembang, namun tetap dilalui oleh kelurusan-kelurusan yang diasumsikan sebagai punggung dan lembahan struktural. Dari hasil korelasi keberadaan struktur geologi, delineasi kelurusan serta densitas rekahan, maka dapat diasumsikan bahwa daerah-daerah densitas rekahan sedang sampai tinggi dan berasosiasi dengan struktur maupun garis delineasi kelurusan merupakan daerah yang memiliki potensi akan mineralisasi, yaitu di bagian barat laut sampai timurlaut, bagian timur dan bagian selatan sampai baratdaya.



Gambar 8. Peta *Overlay* Struktur Geologi, Kelurusan dan Densitas Rekahan



Gambar 9. Kenampakan struktur *quartz veinlet* di: (a) Stasiun 55, (b) Stasiun 126.

D. SIMPULAN DAN SARAN

Hasil dari delineasi struktur menunjukkan adanya orientasi kelurusan berarah timurlaut – baratdaya dengan tegasan utama relatif tenggara – barat laut. Daerah-daerah pada bagian baratlaut sampai timurlaut, bagian timur dan bagian selatan sampai baratdaya yang merupakan daerah dengan densitas rekahan sedang sampai tinggi dan berasosiasi dengan struktur maupun garis delineasi kelurusan, serta keterdapatannya struktur *quartz veinlet* pada bagian timur merupakan daerah dengan potensi adanya mineralisasi. Zona-zona lemah tersebut diinterpretasikan sebagai hasil dari tektonik resen dengan dipengaruhi oleh rezim transtensional yang dibuktikan dengan dominannya berkembang kekar dengan tegasan utama menengah yang mendekati posisi vertikal serta adanya sesar – sesar mendatar.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terimakasih kami sampaikan kepada teman-teman geologi angkatan 2022 yang telah membantu dalam pengambilan data lapangan, serta kepada Laboratorium Geologi Terpadu STT Migas Balikpapan atas bantuan pendanaan. Semoga tulisan ini berguna untuk penelitian-penelitian ke depan.

REFERENSI

- Adha, I., Kurniasih, A., Nugroho, H., & Rachwibowo, P. (2018). Kajian Analisis Sesar di Perbukitan Jiwo Barat, Kecamatan Bayat, Kabupaten Klaten, Jawa Tengah. *Jurnal Geosains dan Teknologi*, 1(1), 8-18.
- Adi, A., Haryanto, A. D., Hutabarat, J., & Gentana, D. (2021). Analisis Penginderaan Jauh Dan Pemodelan 3d Fault Fracture Density (Ffd) Dalam Penentuan Zona Permeabilitas Permukaan Di Wilayah Panas Bumi Gunung Tampomas, Jawa Barat. *Buletin Sumber Daya Geologi*, 16(2), 99-118.
- Aqsha, E. S., Siagian, E. R. R., Rahayu, I. D., Aji, W. N., & Oviandari, Y. G. (2018, January). Analisa Struktur Geologi Desa Bhuana Jaya Bagian Timur, Kecamatan Tenggara Sebrang, Kabupaten Kutai Kartanegara, Kalimantan Timur. In *Prosiding Seminar Nasional Teknologi, Inovasi dan Aplikasi di Lingkungan Tropis* (Vol. 1, No. 1, pp. 86-91).
- Banto, A. T., Kasim, M., Manyoe, I. N., & Setiono, S. (2022). Structural Control on Mineralization High Sulphidation Deposits in Motomboto Area. *Jurnal GEOSAPTA*, 8(1), 73-83.
- Farhan, A., Haryanto, A. D., Hutabarat, J., & Siahaan, M. R. P. (2021). Identifikasi Zona Prospek Panas Bumi Menggunakan Digital Elevation Model Dengan Metode Densitas Kelurusan Dan Temperatur Suhu Permukaan Di Daerah Seulawah, Provinsi Aceh. *Geoscience Journal*, 5(1), 80-90.
- Fossen, H. (2016). *Structural geology*. Cambridge university press.
- Hidayat S., & Umar I., "Peta Geologi Lembar Balikpapan skala 1:250.000", Direktorat Survey Geologi, Bandung, 1994.
- Massinai, M.A. 2015. Geomorfologi Tektonik. Pustaka Ilmu. Yogyakarta.
- Oki Kurniawan, S. T. (2022). Analisis fault fracture density pada potensi panas bumi non-vulkanik untuk menentukan recharge area; Studi kasus di wilayah Lore Lindu, Sulawesi Tengah. *Jurnal Ilmiah Geomatika*, 2(2), 46-54.
- RAFIKA, D. (2023). Identifikasi Struktur Patahan Berdasarkan Analisis Fault Fracture Density (FFD) Dem Alos Palsar Serta Analisis Derivative Dan Pemodelan 2d Gayaberat Daerah Gunung Rajabasa, Lampung Selatan.
- Raharja, B., Setianto, A., & Titisari, A. D. (2020). Ekstraksi Informasi Dari DEM SRTM Untuk Pemetaan Struktur Geologi Studi Kasus: Kokap, Kulon Progo, Daerah Istimewa Yogyakarta. *Jurnal Geomine*, 8(2), 80-95.
- Sammuel, E. R., Hendrasto, F., & Adhitama, R. (2020). Analisis Hubungan antara Intensitas Rekahan dengan Struktur Geologi Daerah Cipanas, Kabupaten Lebak, Provinsi Banten. *Journal of Geoscience Engineering and Energy (JOGEE)*, 108-119.
- SIYAMI, W. C. (2022). *Identifikasi Struktur Bawah Permukaan Manifestasi Panas Bumi Di Kecamatan Rembah Metode Gaya Berat Dan Fault And Fracture Density (FFD)* (Doctoral dissertation, universitas jambi).
- Sunan, H. L., Gibran, A. K., Aditama, M. R., Iswahyudi, S., Widiatmoko, F. R., Widagdo, A., & Laksono, F. A. T. (2021). Interpretasi struktur geologi berdasarkan fault fracture density (ffd) dan implikasinya terhadap potensi likuefaksi di Daerah Kalibening, Kabupaten Banjarnegara, Jawa Tengah. *Eksplorium: Buletin Pusat Teknologi Bahan Galian Nuklir*, 42(1), 47-54.
- Thanoun, R.G. 2013. 'Automatic Extraction and Geospatial Analysis of Lineaments and their Tectonic Significance in some areas of Northern Iraq using Remote Sensing Techniques and GIS'. *International Journal of Enhanced Research In Science Technology & Engineering*. Vol. 2, no. 2, hal. 1-11.
- Utama, P. P., Mardiaty, D., & Adha, I. (2022). Analisis Potensi Panas Bumi Dua Sudara, Provinsi Sulawesi Utara Menggunakan Integrasi Citra Landsat 8 Dan DEM. *Jurnal Ilmiah Geomatika*, 2(2), 25-36.