

STUDI *PROVENANCE* BATUPASIR FORMASI KAMPUNGBARU, KOTA BALIKPAPAN BERDASARKAN ANALISIS GEOKIMIA

Jamaluddin^{1)*}, Khrisko Suprastiwar¹⁾, Emi Prasetyawati Umar²⁾, Hamriani Ryka¹⁾,
Efrina Chandra Agusti Putri¹⁾

¹⁾ Program Studi Geologi, Sekolah Tinggi Teknologi Migas Balikpapan, Kota Balikpapan, 76127, Indonesia.

²⁾ Program Studi Teknik Pertambangan, Universitas Muslim Indonesia, Kota Makassar, 90231, Indonesia.

E-mail: Jamaluddin@sttmigas.ac.id

ABSTRAK

Formasi Kampungbaru di wilayah Balikpapan, Kalimantan Timur merupakan satuan batuan sedimen yang didominasi oleh batupasir dan memiliki potensi geologi yang signifikan. Studi terhadap batupasir dari formasi ini penting untuk memahami asal usul material penyusunnya serta dinamika geologi yang berperan dalam proses sedimentasinya melalui pendekatan geokimia yang dapat mengidentifikasi komposisi kimia dan lingkungan tektonik asal dari sedimen. Sebelas sampel batupasir diambil dari lokasi terpilih di lapangan dan dianalisis dengan menggunakan *portable XRF analyzer* untuk menentukan kandungan unsur utamanya. Hasil analisis menunjukkan bahwa batupasir Formasi Kampungbaru didominasi oleh kandungan SiO_2 yang tinggi dan Al_2O_3 yang sedang dengan rasio $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ yang rendah hingga menengah serta kandungan $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{MgO}$ yang relatif tinggi yang mengindikasikan bahwa material penyusun batupasir kemungkinan besar berasal dari batuan vulkanik atau beku mafik yang terbentuk pada lingkungan busur samudra atau margin kontinental aktif. Keberadaan *wacke* dan *arkose* yang dominan menandakan batupasir ini terendapkan dalam lingkungan dengan energi yang bervariasi, mulai dari laut dalam hingga area dekat sumber granitik. Selaras dengan sejarah geologi Kalimantan bagian timur yang pernah mengalami aktivitas magmatik subduksi pada zaman Tersier. Proses ini kemudian menghasilkan sedimen yang terbawa ke arah timur melalui sistem sungai dan diendapkan dalam lingkungan delta dan laut dangkal membentuk Formasi Kampungbaru. Dengan demikian, batupasir pada Formasi Kampungbaru mencerminkan *provenance* campuran antara *continental block* dan *recycled orogen*.

Kata Kunci: Batupasir, Formasi Kampungbaru, Geokimia, *Provenance*.

ABSTRACT

The Kampungbaru Formation in the Balikpapan area, East Kalimantan, is a sedimentary rock unit predominantly composed of sandstone and holds significant geological potential. The study of sandstone from this formation is essential for understanding the provenance of its constituent materials and the geological dynamics involved in its sedimentation processes through a geochemical approach, which enables the identification of the chemical composition and tectonic setting of the sediment source. Eleven sandstone samples were collected from selected field locations and analyzed using a portable X-ray fluorescence (XRF) analyzer to determine their major elemental composition. The results indicate that the sandstones of the Kampungbaru Formation are characterized by high SiO_2 content and moderate Al_2O_3 levels, with low to moderate $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ ratios and relatively high $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{MgO}$ contents. These geochemical signatures suggest that the source material for the sandstone is likely derived from volcanic or mafic igneous rocks formed in an oceanic arc or active continental margin setting. The predominance of *wacke* and *arkosic* sandstone indicates deposition in environments with variable energy conditions, ranging from deep marine to proximal granitic source areas. This interpretation aligns with the geological history of eastern Kalimantan, which experienced subduction-related magmatic activity during the Tertiary period. These processes contributed to the transport of sediments eastward through fluvial systems, eventually depositing them in deltaic and shallow marine environments, thereby forming the Kampungbaru Formation. Consequently, the sandstone of the Kampungbaru Formation reflects a mixed provenance, comprising contributions from continental blocks and recycled orogenic sources.

Keyword: Sandstone, Kampungbaru Formation, Geochemistry, *Provenance*.

1. Pendahuluan

Formasi Kampungbaru yang terletak di wilayah Kota Balikpapan, Kalimantan Timur, merupakan bagian dari Cekungan Kutai yang dikenal sebagai salah satu cekungan sedimen tersier paling produktif di Indonesia. Formasi ini didominasi oleh litologi batupasir dan batulempung, dan memiliki potensi penting dalam studi geologi sedimen serta eksplorasi sumber daya alam, khususnya hidrokarbon. Salah satu pendekatan penting untuk memahami asal-usul (*provenance*) batupasir adalah melalui analisis geokimia yang memberikan informasi tentang komposisi kimia, derajat pelapukan, serta karakteristik tektonik lingkungan sumber batuan asal (Jannah & Hastuti, 2022). Batupasir pada Formasi Kampungbaru memiliki karakteristik yang dapat memberikan informasi berharga tentang sejarah geologi dan lingkungan deposisi masa lalu. Analisis *provenance* memungkinkan untuk mengidentifikasi sumber materi sedimen dan memahami proses-proses geologis yang membentuk batuan tersebut (Jamaluddin dkk., 2018a; Lokon & Sutriyono, 2024; Sandi dkk., 2024).

Studi *provenance* tidak hanya berkontribusi terhadap pemahaman geologi regional, tetapi juga penting dalam konteks eksplorasi sumber daya alam seperti hidrokarbon dan mineral berat. Dalam konteks Formasi Kampungbaru yang terletak dekat dengan kawasan industri dan ladang minyak Balikpapan, informasi tentang *provenance* batupasir juga memiliki implikasi praktis dalam penilaian kualitas reservoir. Namun, hingga saat ini, masih terbatas studi yang secara khusus mengkaji *provenance* batupasir Formasi Kampungbaru dengan pendekatan geokimia di wilayah Balikpapan. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis karakter geokimia batupasir dari formasi tersebut guna menentukan asal usul material penyusunnya serta memahami dinamika geologi yang mempengaruhinya.

Memahami *provenance* batupasir Formasi Kampungbaru memiliki implikasi penting dalam rekonstruksi sejarah geologi regional, serta dalam eksplorasi sumber daya mineral dan hidrokarbon (Jamaluddin dkk., 2018b; Battu dkk., 2023). Informasi ini dapat digunakan untuk model-model geologi yang lebih akurat dan untuk perencanaan eksplorasi sumber daya di masa depan. Selain itu, penelitian ini juga dapat memberikan kontribusi pada pengetahuan dasar tentang proses-proses sedimentasi dan tektonik di wilayah Kalimantan Timur.

2. Geologi Daerah Penelitian

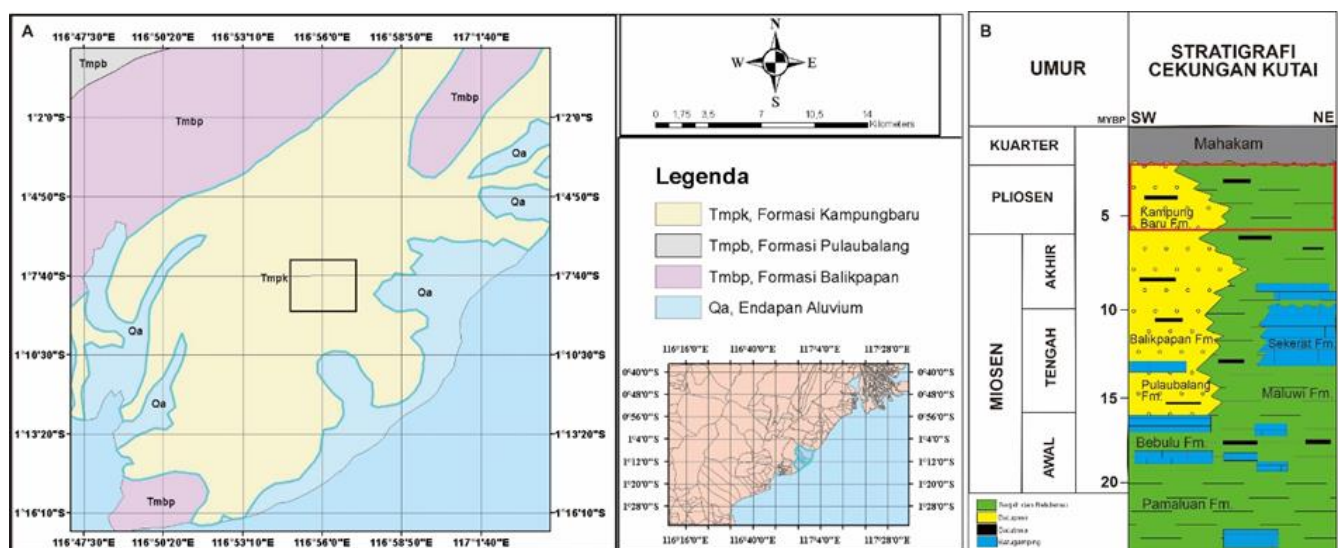
Secara umum, geologi regional Balikpapan didominasi oleh formasi batuan sedimen yang berusia Mesozoikum hingga Kuarter (Tiranda dkk., 2024; Jamaluddin dkk., 2024). Wilayah ini merupakan bagian dari Cekungan Kutai yang terkenal dengan endapan batubara dan minyak bumi. Batuan sedimen di daerah ini umumnya terdiri dari pasir, lempung, dan batugamping yang terbentuk dari proses sedimentasi di lingkungan perairan dangkal (Jamaluddin dkk., 2023; Tiranda dkk., 2024) (Gambar 1a). Aktivitas tektonik di kawasan ini telah menyebabkan adanya struktur lipatan dan sesar yang memengaruhi pola penyebaran sumber daya mineral dan hidrokarbon. Kota Balikpapan terletak di pesisir timur Kalimantan dan memiliki fisiografi serta geomorfologi yang beragam (Prabowo dkk., 2023). Wilayah ini terdiri dari tiga unit utama: pertama, dataran pantai yang rendah, dengan ketinggian antara 0 hingga 20 meter di atas permukaan laut, yang mengalami perubahan akibat proses sedimentasi dan erosi serta aktivitas gelombang laut. Kedua, terdapat dataran aluvial di bagian tengah, yang terbentuk dari endapan sungai dan perbukitan rendah dengan ketinggian antara 20 hingga 200 meter di atas permukaan laut, yang sering digunakan untuk pertanian dan pemukiman. Ketiga, bagian barat dan selatan kota mencakup pegunungan dan perbukitan yang lebih tinggi, mencapai sekitar 500 meter di atas permukaan laut, yang merupakan bagian dari sistem pegunungan Kalimantan. Proses tektonik, seperti aktivitas lipatan dan sesar, serta erosi dan sedimentasi dari aliran sungai, membentuk morfologi kompleks ini menciptakan lanskap yang dinamis dan beragam di sekitar Balikpapan (Prabowo dkk., 2023).

Formasi Kampungbaru terdiri dari batupasir, serpih, lanau, dan konglomerat yang berasal dari periode Miosen hingga Pliosen. Batupasir yang dominan di formasi ini umumnya berwarna krem hingga coklat muda dengan butiran kasar hingga sedang. Batupasir ini sering menunjukkan karakteristik seperti strata bergelombang yang mengindikasikan pengendapan dalam lingkungan delta atau sungai (Jamaluddin dkk., 2024) (Gambar 1b). Lanau sering ditemukan sebagai *interbedding* di antara lapisan batupasir yang menunjukkan kondisi pengendapan yang lebih tenang atau lingkungan delta yang lebih terendam (Battu dkk., 2023).

Formasi Kampungbaru diperkirakan terbentuk dalam lingkungan pengendapan yang bervariasi dari delta hingga fluvial (Rohmana dkk., 2019). Proses sedimentasi terjadi dalam lingkungan yang dinamis dengan perubahan dari kondisi pengendapan fluvial yang lebih kasar menjadi delta yang lebih halus.

3. Metode Penelitian

11 (sebelas) sampel batupasir diambil dari daerah Perusda (BPN 2), Gunung Bahagia (BPN 3), Prona Sepinggan (BPN 4), dan Pondok Bukit Lestari (BPN 5) untuk dianalisis geokimia. Proses penelitian dimulai dengan pemilihan lokasi pengambilan sampel yang strategis untuk memastikan representativitas dan variasi geologi. Metode penelitian yang digunakan adalah analisis *X-Ray Fluorescence (XRF)* dengan Portable XRF Analyzer dari *Thermo Scientific* di Laboratorium Sedimentologi University of Vienna, Austria. Setelah pengambilan sampel, setiap batupasir diproses dengan pembersihan dan pengeringan untuk menghilangkan kontaminan dan kelembapan. Sampel kemudian digiling hingga mencapai ukuran butiran yang halus dan homogen yang diperlukan untuk analisis pXRF. Proses pemindaian dilakukan dengan menekan tombol mulai pada alat pXRF, di mana sinar-X dipancarkan ke sampel selama tujuh menit untuk setiap pemindaian. Setiap sampel dianalisis beberapa kali untuk memastikan akurasi data yang kemudian direkam oleh alat perekam (IPAQ). Data hasil analisis diunduh dalam format *Microsoft Excel* untuk analisis lebih lanjut. Selanjutnya, data kimia yang diperoleh diolah menggunakan model klasifikasi tektonik untuk menentukan karakteristik kimia batupasir dan mengidentifikasi kemungkinan asal geologi dan tektonik dari sampel tersebut.



Gambar 1. Kolom stratigrafi daerah penelitian (Jamaluddin dkk., 2024).

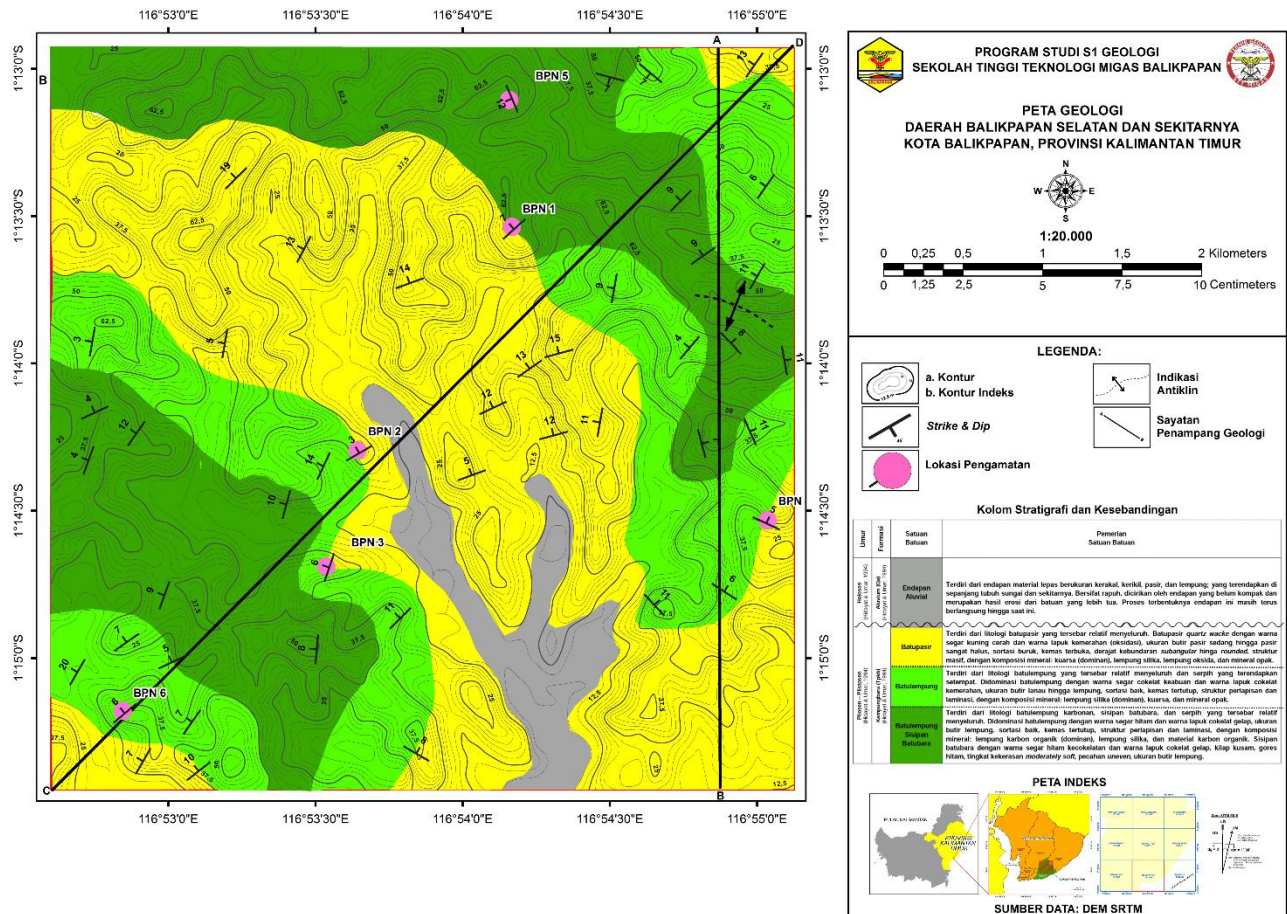
4. Hasil Dan Pembahasan

A. Stratigrafi daerah penelitian

Secara regional daerah penelitian berada di Formasi Kampungbaru (Tpkb). Adapun satuan batuan yang membentuk daerah penelitian, relatif dari tua ke muda, yaitu: satuan batulempung sisipan batubara yang diperkirakan berumur Pliosen Awal, satuan batulempung yang diperkirakan berumur Pliosen Akhir, satuan batupasir yang diperkirakan berumur Plistosen, dan endapan aluvial yang berumur Holosen (Hidayat & Umar, 1994) (Gambar 2). Satuan endapan aluvial menempati area sekitar 8 % dari luas daerah penelitian. Terdiri dari endapan material lepas berukuran kerakal, kerikil, pasir, dan lempung yang terendapkan di sepanjang tubuh sungai dan sekitarnya. Bersifat rapuh, dicirikan oleh endapan yang belum kompak dan merupakan hasil erosi dari batuan yang lebih tua. Proses terbentuknya endapan ini masih terus berlangsung hingga saat ini. Satuan ini diendapkan secara tidak selaras setelah pengendapan satuan batupasir.

Satuan batupasir menempati area sekitar 47 % dari luas daerah penelitian. Satuan batupasir terdiri dari litologi batupasir yang tersebar relatif menyeluruh. Batupasir *quartz wacke* dengan warna segar kuning cerah dan warna lapuk kemerahan (oksidasi), ukuran butir pasir sedang hingga pasir sangat halus, sortasi buruk, kemas terbuka, derajat kebundaran *subangular* hingga *rounded*, struktur masif dengan komposisi mineral kuarsa (dominan), lempung silika, lempung oksida, mineral opak. Satuan batulempung menempati area sekitar 20% dari luas daerah penelitian. Didominasi batulempung dengan warna segar cokelat keabuan dan warna lapuk cokelat kemerahan, ukuran butir lanau hingga lempung, sortasi baik, kemas tertutup, derajat kebundaran *rounded* hingga *well rounded*, struktur perlapisan dan laminasi dengan komposisi mineral lempung silika (dominan), kuarsa, dan mineral opak.

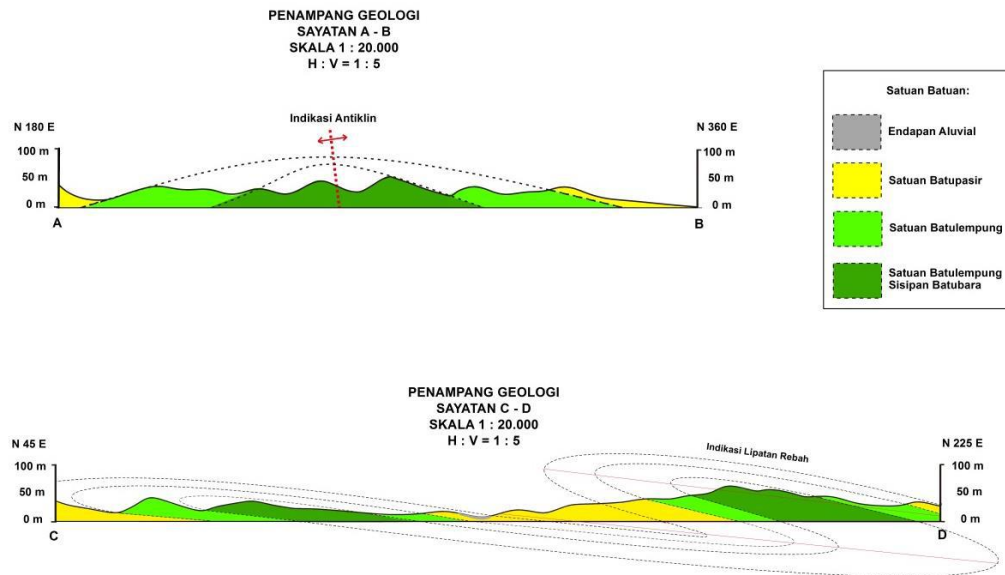
Satuan batulempung sisipan batubara menempati area sekitar 25% dari luas daerah penelitian. Terdiri dari litologi batulempung karbonan, sisipan batubara, dan serpih yang tersebar relatif menyeluruh. Didominasi batulempung dengan warna segar hitam dan warna lapuk cokelat gelap, ukuran butir lempung, sortasi baik, kemas tertutup, derajat kebundaran *rounded* hingga *well rounded*, struktur perlapisan dan laminasi dengan komposisi mineral: lempung karbon organik (dominan), lempung silika, dan material karbon organik. Sisipan batubara dengan warna segar hitam kecokelatan dan warna lapuk cokelat gelap, kilap kusam, gores hitam, tingkat kekerasan *moderately soft*, pecahan *uneven*, ukuran butir lempung.



Gambar 2. Peta Geologi daerah penelitian.

B. Struktur Geologi daerah penelitian

Berdasarkan hasil sayatan penampang dari tiga satuan batuan daerah penelitian, maka dapat diinterpretasi bahwa struktur geologi yang berkembang di daerah penelitian yaitu indikasi antiklin dan indikasi lipatan rebah. Indikasi antiklin terlihat pada Penampang A-B dimana berdasarkan rekonstruksi diketahui bahwa dari tua ke muda urutan satuan batuan yang terendapkan yaitu satuan batulempung sisipan batubara, satuan batulempung, dan satuan batupasir. Sementara itu indikasi lipatan rebah terlihat pada Penampang C-D (Gambar 3).



Gambar 3. Penampang Geologi daerah penelitian.

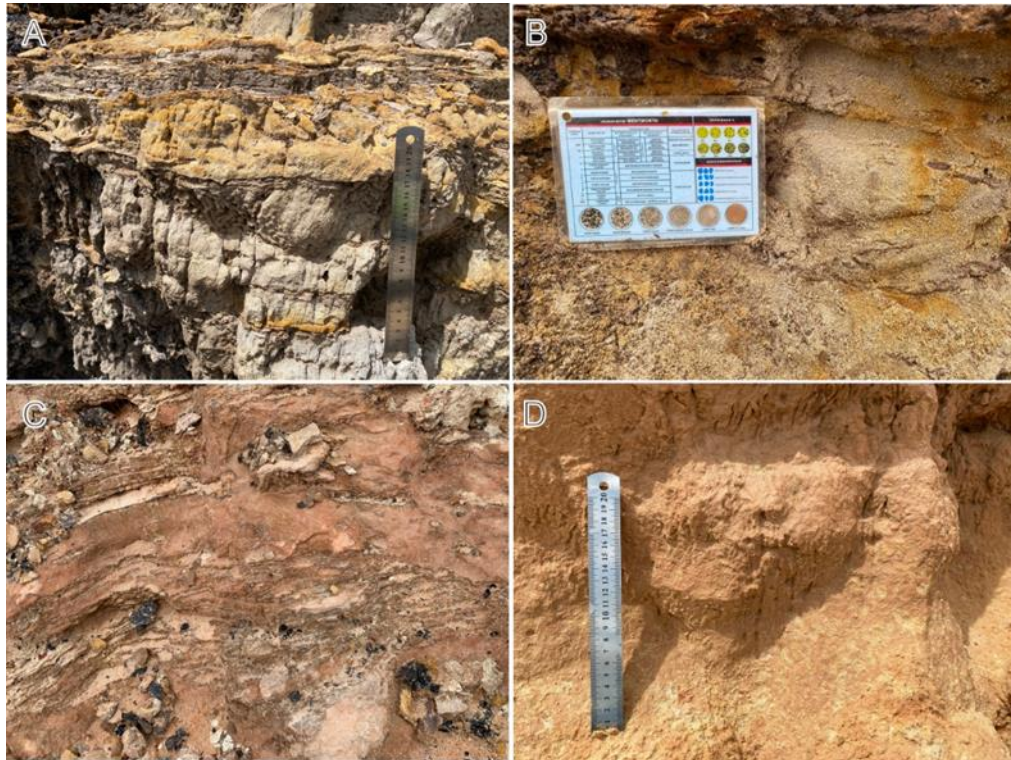
C. Karakteristik batupasir

Batupasir yang berwarna abu-abu terang dengan lapisan-lapisan berwarna kuning kecoklatan kemungkinan disebabkan oleh kehadiran oksida besi yang sering terbentuk akibat proses oksidasi besi dalam lingkungan yang teroksidasi. Lapisan ini menunjukkan adanya laminasi yang jelas, dengan lapisan halus hingga kasar. Laminasi ini dapat menunjukkan variasi dalam kecepatan aliran atau perubahan lingkungan deposisi (Gambar 4a). Batupasir yang memiliki tekstur yang agak kasar dengan gradasi ukuran butir yang tidak seragam menunjukkan adanya proses sortasi yang kurang baik atau perubahan dalam energi deposisi (Gambar 4b). Gambar 4c menunjukkan batupasir warna merah kecoklatan dengan inklusi material hitam yang tampaknya seperti fragmen organik atau mineral berat (mungkin fragmen dari batuan vulkanik atau besi oksida). Tekstur batupasir ini lebih heterogen dengan adanya berbagai ukuran butir dan material organik/inorganik yang tercampur menunjukkan lingkungan pengendapan yang lebih fluvial dengan energi variabel, di mana aliran air bisa membawa dan mencampur material yang berbeda. Batupasir pada gambar 4d memiliki warna coklat kemerahan yang lebih konsisten yang dapat mengindikasikan tingkat oksidasi yang tinggi dalam lingkungan deposisi atau post-deposisi. Batupasir ini tampak lebih halus dan menunjukkan lingkungan deposisi yang lebih tenang, seperti laut dangkal.

D. Unsur utama batupasir daerah penelitian

Data geokimia batupasir dari Formasi Kampungbaru, Cekungan Kutai (Gambar 5; Tabel 1), menunjukkan bahwa komposisi utama batupasir ini didominasi oleh SiO_2 (silika) dengan persentase berkisar antara 60% hingga 90%. Tingginya kandungan SiO_2 ini mengindikasikan bahwa batupasir tersebut sebagian besar terdiri dari mineral kuarsa yang merupakan mineral utama dalam batupasir. Selain itu, Al_2O_3 (alumina) juga memiliki kandungan yang signifikan berkisar antara 10-20% menunjukkan keberadaan mineral aluminosilikat seperti feldspar atau lempung. Kehadiran Fe_2O_3 (oksida besi) yang juga terdeteksi meskipun dalam jumlah yang lebih kecil menunjukkan adanya mineral-mineral besi oksida seperti hematit atau goetit.

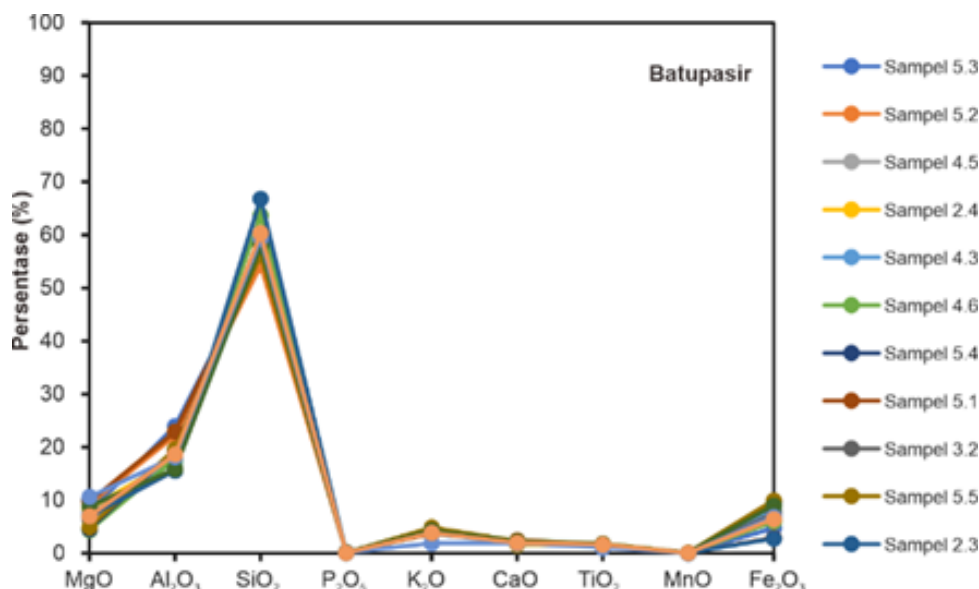
Unsur-unsur lainnya seperti MgO , CaO , TiO_2 , MnO , P_2O_5 , dan K_2O hadir dalam jumlah yang jauh lebih kecil yang mengindikasikan bahwa mineral-mineral yang mengandung unsur-unsur ini, seperti dolomit dan plagioklas bukan merupakan komponen utama dari batupasir ini. Variasi komposisi geokimia antar sampel juga tidak terlalu besar dikarenakan batupasir di berbagai titik pengambilan sampel memiliki komposisi yang cukup homogen. Secara keseluruhan, tingginya kandungan silika serta konsistensi komposisi antar sampel mengindikasikan bahwa batupasir di Formasi Kampungbaru kemungkinan terbentuk di lingkungan pengendapan yang didominasi oleh proses fisik, di mana hanya mineral-mineral yang tahan lama seperti kuarsa.



Gambar 4. Variasi batupasir dalam Formasi Kampungbaru yang mencerminkan lingkungan deposisi yang dinamis; (A) Batupasir berwarna abu-abu terang dengan lapisan kuning kecoklatan yang menunjukkan oksidasi besi; (B) Batupasir kasar dengan variasi ukuran butir, menunjukkan energi deposisi yang bervariasi; (C) Lapisan batupasir merah kecoklatan dengan inklusi material hitam, kemungkinan fragmen organik atau mineral berat; (D) Batupasir bertekstur halus berwarna coklat kemerahan, menunjukkan lingkungan deposisi energi rendah seperti laut dangkal.

Tabel 1 Komposisi major oksida batupasir daerah penelitian berdasarkan analisis *X-Ray Fluorescence*.

Lokasi	Sampel ID	Komposisi Major Oksida								
		MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	TiO ₂	MnO	Fe ₂ O ₃
Perusda	2.3	7.02	15.58	66.85	0.10	4.24	1.92	1.44	0.04	2.80
	2.4	8.47	17.81	58.13	0.12	4.23	1.62	1.49	0.06	8.08
Gunung Bahagia	3.2	6.33	19.20	59.06	0.09	4.09	2.02	1.67	0.05	7.48
Prona Sepinggan	4.3	7.22	17.39	59.79	0.18	3.73	1.92	1.62	0.06	8.10
	4.5	8.05	18.12	59.13	0.18	3.92	2.10	1.72	0.05	6.73
	4.6	4.40	17.79	63.66	0.13	3.78	2.42	1.83	0.05	5.96
	5.1	9.71	22.94	56.34	0.15	3.71	2.43	1.79	0.03	2.91
Pondok Bukit Lestari	5.2	9.27	22.14	54.27	0.12	4.21	2.10	1.68	0.05	6.16
	5.3	7.79	23.99	55.46	0.09	3.93	2.26	1.72	0.02	4.75
	5.4	4.59	19.48	58.29	0.19	4.32	1.78	1.60	0.08	9.66
	5.5	4.98	19.63	56.27	0.12	4.87	2.26	1.77	0.13	9.97



Gambar 5. Komposisi geokimia dari sampel batupasir Formasi Kampungbaru di Cekungan Kutai.

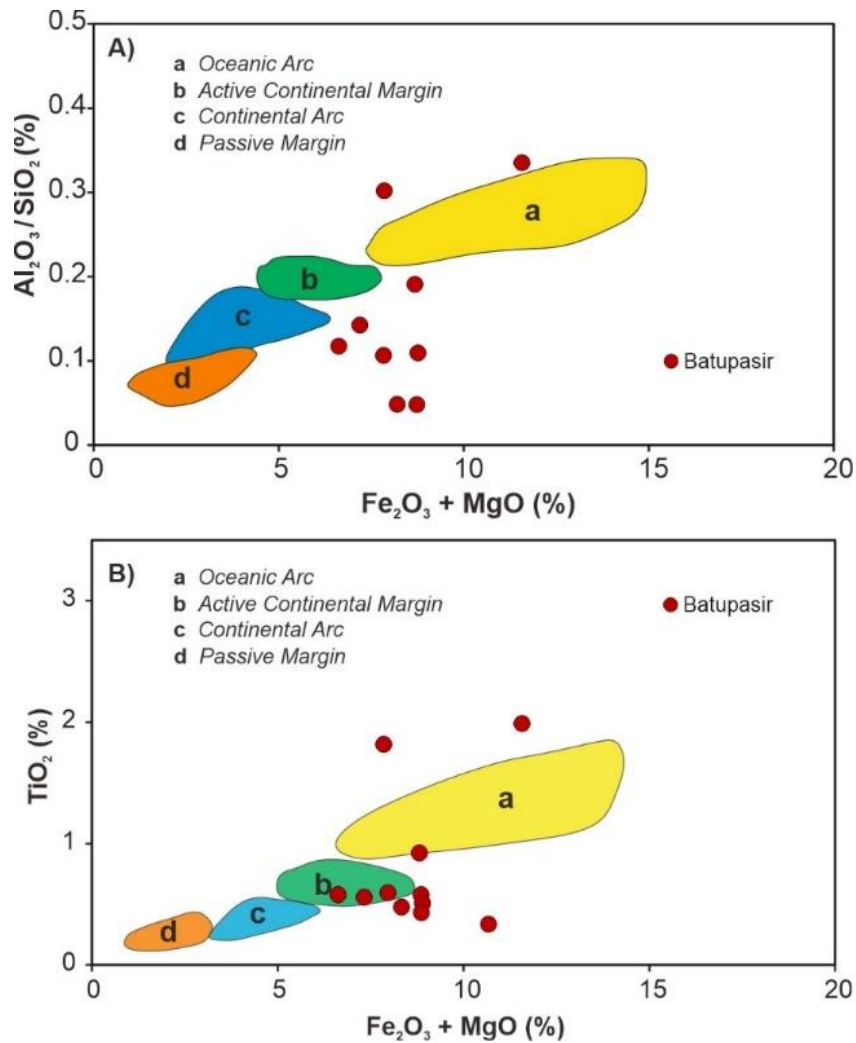
E. Provenance batupasir Formasi Kampungbaru Daerah Balikpapan

Sampel batupasir tersebar di antara area yang terkait dengan *Oceanic Arc* (a) dan *Active Continental Margin* (b). Hal ini menunjukkan bahwa batupasir pada Formasi Kampungbaru kemungkinan berasal dari daerah dengan pengaruh tektonik yang kuat, terutama terkait dengan lingkungan busur samudra atau *margin* kontinental aktif. Konsentrasi $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ yang rendah hingga menengah (0.05 – 0.43) dan $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{MgO}$ yang relatif tinggi (6.62 – 17.87) pada batupasir menunjukkan bahwa material penyusun batupasir mungkin berasal dari sumber yang kaya Fe dan Mg, kemungkinan dari batuan vulkanik atau batuan beku mafik yang terbentuk di lingkungan busur samudra atau margin kontinental aktif (Gambar 6a).

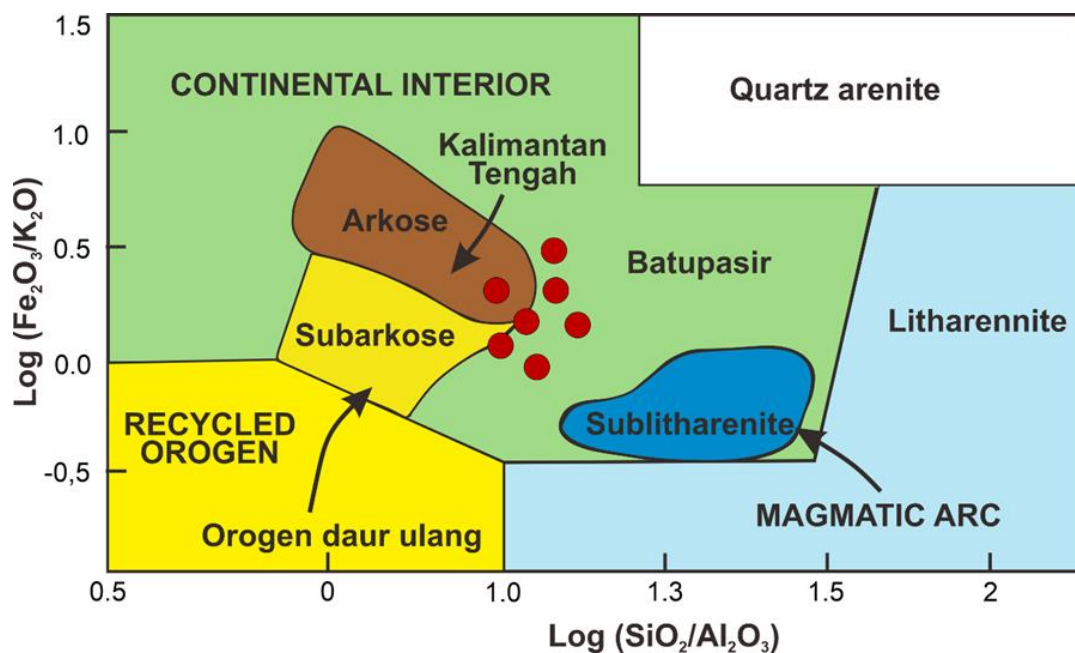
Konsentrasi TiO_2 yang relatif rendah (0.33 – 1.99 %) hingga sedang dan $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{MgO}$ yang tinggi menunjukkan bahwa batupasir ini mungkin memiliki kontribusi material dari sumber batuan yang serupa dengan lingkungan busur samudra atau margin kontinental aktif. TiO_2 biasanya terkait dengan mineral berat seperti rutil yang dapat ditemukan dalam batuan beku mafik atau *ultramafic* (Gambar 6b). Keselarasan antara kedua diagram ini menguatkan interpretasi bahwa batupasir di Formasi Kampungbaru kemungkinan besar berasal dari daerah dengan aktivitas tektonik aktif, seperti busur vulkanik di lingkungan samudra atau margin kontinental yang aktif.

Batupasir dari Formasi Kampungbaru menunjukkan variasi komposisi yang signifikan mulai dari *wacke* hingga *arkose*, *subarkose*, dan *sublitharenite* (Gambar 7). Hal ini menunjukkan bahwa lingkungan pengendapan batupasir ini beragam, mungkin terkait dengan berbagai fase tektonik dan sumber batuan yang berbeda. Keberadaan *wacke* dan *arkose* mengindikasikan adanya variasi dalam energi lingkungan pengendapan. *Wacke* sering dikaitkan dengan lingkungan energi rendah seperti cekungan laut dalam, sedangkan *arkose* biasanya terkait dengan lingkungan energi tinggi di dekat sumber batuan granitik.

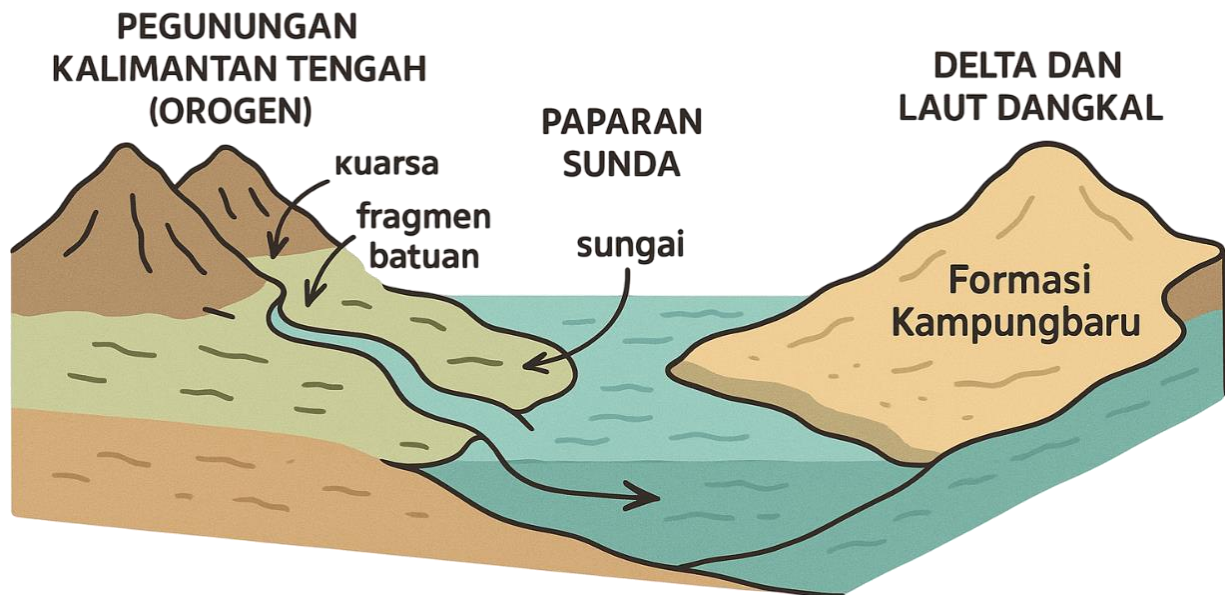
Batupasir Formasi Kampungbaru di Kota Balikpapan yang didominasi oleh material sedimen, seperti kuarsa dan fragmen litik berasal dari daerah pegunungan di Kalimantan Tengah yang mengalami proses orogenesis (pengangkatan tektonik). Material ini berasal dari proses pelapukan dan erosi batuan beku dan metamorf yang kemudian terbawa oleh aliran sungai menuju dataran pesisir. Material sedimen tersebut selanjutnya terbawa melalui arus laut (*marine currents*) melintasi paparan Sunda (*Sunda Shelf*) yang digambarkan sebagai zona transisi dari daratan menuju laut dangkal. Proses transportasi ini memungkinkan material klastik mengalami sortasi dan perubahan komposisi mineral. Fragmen-fragmen yang lebih berat atau besar akan mengendap lebih awal, sementara yang lebih halus, seperti pasir kuarsa, ke arah timur hingga mencapai wilayah Balikpapan. Di sinilah material batupasir diendapkan dan membentuk satuan batuan sedimen. Komposisi batupasir yang didominasi oleh kuarsa dan sebagian fragmen litik mencerminkan karakteristik lingkungan pengendapan fluvio-deltaik hingga marin, yang menunjukkan bahwa *provenance* batupasir ini berasal dari lingkungan tektonik aktif dengan kontribusi material dari zona magmatik dan metamorfik. Dengan demikian, Formasi Kampungbaru merupakan hasil dari sistem sedimentasi kompleks yang melibatkan pengangkutan dari daratan tinggi ke lingkungan laut dangkal (Gambar 8).



Gambar 6. Plot silang untuk menunjukkan kondisi tatanan tektonik yang terdapat pada Formasi Kampungbaru, Cekungan Kutai; (A) Bivariate plot antara $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ dan $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{MgO}$; (B). Bivariate plot antara TiO_2 dan $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{MgO}$.



Gambar 7. Plot silang $\text{log}(\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3)$ vs $\text{log}(\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{K}_2\text{O})$ untuk menentukan klasifikasi batupasir dari sedimen Kota Balikpapan.



Gambar 8. Ilustrasi proses asal-usul (*provenance*) batupasir Formasi Kampungbaru di Kota Balikpapan yang didominasi oleh material sedimen hasil erosi dari wilayah Kalimantan Tengah.

5. Kesimpulan

Batupasir dari Formasi Kampungbaru di Kota Balikpapan kemungkinan besar memiliki *provenance* yang terkait dengan lingkungan tektonik yang aktif terutama yang berhubungan dengan busur samudra atau margin kontinental aktif. Ini mungkin menunjukkan bahwa batuan sumber dari batupasir tersebut adalah batuan beku atau vulkanik mafik yang terbentuk di lingkungan tersebut. Pengelompokan sampel pada diagram ini mengindikasikan bahwa batupasir tersebut mungkin berasal dari berbagai sumber batuan termasuk granit, batuan sedimen litik, dan material yang terdeposisi di lingkungan dengan energi pengendapan yang bervariasi. Batupasir Formasi Kampungbaru diinterpretasikan berasal dari sumber batuan granit dan batuan metamorf tua yang berada di wilayah Kalimantan Tengah. Fragmen litik dan feldspar menunjukkan bahwa *provenance* mencerminkan pengaruh dari *continental block* dan *recycled orogen*. Proses transportasi melalui sungai dan arus laut mengarahkan sedimen ke arah timur hingga terendapkan di lingkungan laut dangkal, membentuk endapan batupasir Formasi Kampungbaru.

6. Daftar Pustaka

- Battu, D.P., Jamaluddin, Ryka, H. (2023). Studi Asal Sedimen Lempung Kota Balikpapan Berdasarkan Data Geokimia, *Justek: Jurnal Sains dan Teknologi* 6 (4), 462-469.
- Jamaluddin, Darwis, A., Massinai, M. A. (2018a). X-Ray Fluorescence (XRF) to identify chemical analysis of minerals in Buton island, SE Sulawesi, Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 118 (1).
- Jamaluddin, Umar, E. P. (2018b). Identifikasi Kandungan Unsur Logam Batuan Menggunakan Metode XRF (X-Ray Fluorescence) (Studi Kasus: Kabupaten Buton), *Jurnal Geocelbes* 2(2): 47-52.
- Jamaluddin, Wagreich, M., Gier, S., Schöpfer, K., Battu, D. P. (2023). Sedimentary Environments and Paleoclimate Control of the Middle Miocene Balikpapan Group, Lower Kutai Basin (Indonesia): Implications for Evaluation of the Hydrocarbon Potential, *Minerals*, 13(10).
- Jamaluddin, Schöpfer, K., Wagreich, M., Maria, Gier, S., Fathy, D. (2024). Effect of Depositional Environment and Climate on Organic Matter Enrichment in Sediments of the Upper Miocene—Pliocene Kampungbaru Formation, Lower Kutai Basin, Indonesia. *Geosciences*, 14, 164.
- Jannah, S. M., & Hastuti, E. W. D. (2022). Karakteristik Batupasir dan *Provenance* Formasi Peneta Daerah Tambang Tinggi dan Sekitarnya, Kabupaten Sarolangun, Jambi. *Jurnal Penelitian Sains Teknologi*, 13(1). <https://doi.org/10.23917/saintek.v13i1.576>
- Lokon, B., & Sutriyono, E. (2024). Studi Provenance Batupasir Formasi Peneta Desa Slango, Kabupaten Sarolangun, Jambi. *Jurnal Universal Technic*, 3(1), 92–100. <https://doi.org/10.58192/unitech.v3i1.1420>
- Prabowo, I., Jamaluddin., Pratikno, F. A. (2023). Integrasi Data Geomorfologi dan Data Geospasial untuk Pemetaan Kawasan Rawan Pergerakan Tanah Wilayah Kecamatan Balikpapan Utara, *Jurnal Ilmiah Geologi PANGEA*, 10(1).

Rohmana, R.C., Fardiansyah, I., Taufani, L., Harishidayat, D. (2019). Depositional processes and facies architecture of Balikpapan sandstone formation, application of 3D Digital Outcrop Model (DOM) to identify reservoir geometry and distribution in deltaic system. *Sci. Contrib. Oil Gas*, 42, 35–42.

Sandi, N., Panji, A., Permana, Kasim, M. (2024), Analisis Provenance Batupasir Formasi Dolokapa Kabupaten Gorontalo Utara Berdasarkan Data Geokimia XRF, *EnviroScienteeae.*, 20(1): 27-32.

Tiranda, H., Pasaribu, D., Kusumah, E., & Riadi, R. S. (2024). Deformation of Samarinda Anticlinorium and its implication to the East Kutai Basin tectonic evolution. *Asia Petroleum Geoscience Conference and Exhibition (APGCE) 2024*. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.202477082>.