doi: 10.56099/ophi.v7i2.p123-132 http://ophiolite.uho.ac.id/

Vol. 07, No. 03, Tahun 2025: 123–132

OPHIOLITE: Jurnal Geologi Terapan

|e-ISSN 2715-4440|

Program Studi Teknik Geologi, Universitas Halu Oleo

|Research Article

Analisis Komposisi Mineral Lempung dan Maturitas Material Organik Daerah Balikpapan Selatan, Kota Balikpapan, Kalimantan Timur

Jamaluddin[1], Agus Wiramsya Oscar[2], Nijusiho Manik[3], Emi Prasetyawati Umar[4]

[1]Program Studi Geologi, Sekolah Tinggi Teknologi Migas Balikpapan, KM.8, Karang Joang, Balikpapan Utara, Kota Balikpapan
[2]PT. Insani Bara Perkasa (Rain, Tbk), Sempaja Selatan, Samarinda Utara, Kota Samarinda, Kalimantan Timur
[3]Program Studi Rekayasa Geologi, Sekolah Tinggi Teknologi Migas Balikpapan, KM.8, Karang Joang, Balikpapan Utara, Kota Balikpapan
[4]Program Studi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Muslim Indonesia, Jl. Urip Sumoharjo, KM. 5. Makassar

ARTICLE INFO

Article history:
Received: June 27, 2025
Accepted: November 7, 2025
Published: December 1, 2025

Keywords:
balikpapan selatan
evolusi termal
mineral lempung
reflektansi vitrinit

Corresponding author:
Jamaluddin
Email: Jamaluddin@sttmigas.ac.id

Read online:
Scan this QR code with your smart phone or mobile device to read online.

Copyright © 2025 Authors

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License.

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh komposisi mineral lempung terhadap evolusi termal batuan induk di daerah Balikpapan Selatan, Kota Balikpapan, Kalimantan Timur. Sampel berupa batulempung dengan dilakukan analisis *X-Ray Diffraction* (XRD), *vitrinite reflectance* (Ro), dan *scanning electron microscope* (SEM). Hasil analisis XRD menunjukkan bahwa mineral lempung utama yang terkandung dalam batulempung adalah illit/smektit (35–42%), kaolinit (30–39%), illit (18–23%), dan klorit (5–10%). Kehadiran mineral illit/smektit yang dominan menunjukkan kemampuan retensi panas yang tinggi sehingga memungkinkan peningkatan suhu lokal yang selanjutnya memengaruhi evolusi termal batuan induk. Mineral kaolinit yang mencapai 30–39% berkontribusi terhadap kestabilan termal batuan induk karena sifatnya yang cenderung *inert* pada rentang suhu sedang. Sementara itu, keberadaan mineral illit (18–23%) juga mendukung kestabilan termal tetapi dengan peran yang lebih kecil dibandingkan kaolinit. Klorit (5–10%) dapat meningkatkan reaktivitas kimia mineral pada kondisi suhu tinggi yang berpotensi memicu reaksi metamorfosa ringan pada batuan. Nilai Ro yang diperoleh dari sampel berkisar 0.33% - 0.47% yang mengindikasikan tingkat maturitas termal yang rendah hingga menengah. Tingkat maturitas ini menunjukkan bahwa batulempung di daerah Balikpapan Selatan belum mencapai kondisi optimal untuk memicu pembentukan minyak atau gas dalam jumlah signifikan.

ABSTRACT

The research aims to analyze the influence of clay mineral composition on the thermal evolution of source rock in the South Balikpapan area, Balikpapan City, East Kalimantan. Mudstone samples were analyzed by vitrinite reflectance (Ro), X-ray diffraction (XRD) and scanning electron microscopy (SEM). XRD analysis results show that the predominant clay minerals in the mudstone are mixed illite/smectite (35-42%), kaolinite (30-39%), illite (18-23%), and chlorite (5-10%). The predominant mineral presence of illite/smectite indicates a high heat retention capability. This plays an important role in the process of diagenesis and thermal transformation. High heat retention allows for localized temperature increases that further influence the thermal evolution of the host rock. The kaolinite mineral, which reaches 30-39%, contributes to the thermal stability of the host rock due to its inert nature in the medium temperature range. Meanwhile, the presence of illite minerals (18-23%) also supports thermal stability but with a smaller role than kaolinite. Otherwise, chlorite (5-10%) can increase the chemical reactivity of minerals under high temperature conditions, potentially triggering mild metamorphic reactions in rocks. The Ro values obtained from the samples range from 0.33% to 0.47%, which indicates a low to medium level of thermal maturity. This maturity level indicates that the mudstone rocks in the South Balikpapan area have not reached the optimal condition to produce hydrocarbons. These vitrinite reflectance values correspond to the estimated maximum temperature that the rocks have experienced, which is likely not high enough to trigger the formation of significant amounts of oil or gas.

How to cite: Jamaluddin, Manik, N., Umar, E. P. (2025). Analisis komposisi mineral lempung dan maturitas material organik Daerah Balikpapan Selatan, Kota Balikpapan, Kalimantan Timur. *OPHIOLITE*: *Jurnal Geologi Terapan, 7*(3), pp. 123-132. https://doi.org/10.56099/ophi.v7i2.p123-132

1 Pendahuluan

Batuan induk merupakan elemen penting dalam sistem petroleum karena berfungsi sebagai sumber hidrokarbon yang terbentuk melalui proses geokimia dan geologi yang kompleks (Jamaluddin dkk., 2024a). Salah satu faktor kunci yang mempengaruhi potensi batuan induk dalam menghasilkan hidrokarbon adalah komposisi mineral lempung yang terdapat di dalamnya. Mineral lempung memainkan peran signifikan dalam menentukan sifat fisik dan kimia batuan induk terutama dalam kaitannya dengan evolusi termal. Proses termal ini menentukan kemam-puan batuan induk untuk menghasilkan hidrokarbon melalui proses pematangan organik (Grim, 1947; Bruce, 1984; Jamaluddin dkk., 2024b). Mineral lempung, seperti illit, kaolinit, dan smektit memiliki sifat fisik dan kimia yang dapat memenga-ruhi mekanisme evolusi termal. Transformasi mineral-mineral lempung akibat pemanasan dapat memengaruhi porositas, permeabilitas, dan kemam-puan migrasi hidrokarbon. Selain itu, interaksi mineral lempung dengan bahan organik dalam batuan induk dapat menentukan tingkat maturitas organik yang merupakan indikator utama dalam penilaian potensi hidrokarbon (Grim, 1947; Jamaluddin dkk., 2024b).

Studi tentang batuan induk di wilayah ini telah menunjukkan adanya variasi komposisi mineral lempung yang memengaruhi evolusi termal dan efisiensi pembentukan hidrokarbon. Namun, penelitian terkait pengaruh spesifik komposisi mineral lempung terhadap evolusi termal batuan induk di daerah ini masih terbatas. Pemahaman yang lebih mendalam tentang hubungan ini akan memberikan kontribusi penting terhadap eksplorasi sumber daya energi yang lebih efisien dan berkelanjutan. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi dan meng-evaluasi pengaruh komposisi mineral lempung terhadap evolusi termal batuan induk di daerah Balikpapan Selatan.

2 Geologi Regional Daerah Penelitian

Lokasi penelitian berada di Kecamatan Balikpapan Selatan dan sekitarnya yang termasuk ke dalam Cekungan Kutai Bawah. Cekungan Kutai membentang di daerah seluas ±60.000 km dengan komposisi endapan berumur Tersier setebal 14 km (Allen dan Chambers, 1998; Jamaluddin dkk., 2024b). Struktur tektonik yang berkembang pada Cekungan Kutai berarah timur laut-barat daya (NE-SW) yaitu Antiklinorium Samarinda yang mana memiliki karakteristik terlipat kuat, antiklin asimetris, dan dibatasi oleh sinklin-sinklin yang terisi oleh sedimen silisiklastik Miosen (Satyana dkk., 1999; Permana dkk.,2018) (Gambar 1a).

Stratigrafi Cekungan Kutai disusun oleh endapan-endapan sedimen berumur Tersier yang memperlihatkan endapan fase transgresi berupa serpih laut dalam dan batuan karbonat, serta regresi laut berupa lapisan sedimen klastik delta hingga laut dangkal serta lapisan batubara (lignit) (Allen dan Chambers, 1998). Secara regional daerah penelitian berada di Formasi Kampungbaru (Tpkb). Adapun satuan batuan yang membentuk daerah penelitian 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 dan Umar, 1994) (Gambar 1b).

3 Metode

Penelitian ini menggunakan sampel berupa batulempung sebanyak 7 (tujuh) sampel dari daerah Balikpapan Selatan dengan metode penelitian berupa pemetaan geologi permukaan (*geological surface mapping*) (Gambar 2). Metode ini mencakup pengamatan, pemerian, pengukuran langsung, dan perekaman data geologi yang tersingkap di permu-kaan bumi. Dalam pelaksanaannya, pengambilan sampel batuan dilakukan pada setiap titik pengamatan dengan fokus pada sampel segar yang dapat merepresentasikan kondisi geologi sebenarnya di lapangan. Sampel yang telah dikumpulkan selama kegiatan pemetaan kemudian dibawa ke laboratorium untuk dilakukan analisis lanjutan. Analisis labora-torium meliputi *vitrinite reflectance* (Ro) untuk menentukan tingkat kematangan termal material organik, *X-Ray Diffraction* (XRD) untuk mengiden-tifikasi komposisi mineralogi, serta *scanning electron microscope* (SEM) untuk mempelajari struktur dan tekstur permukaan sampel. Analisis laboratorium tersebut dilakukan di Montanuniversitat Leoben University dan University of Vienna, Austria.

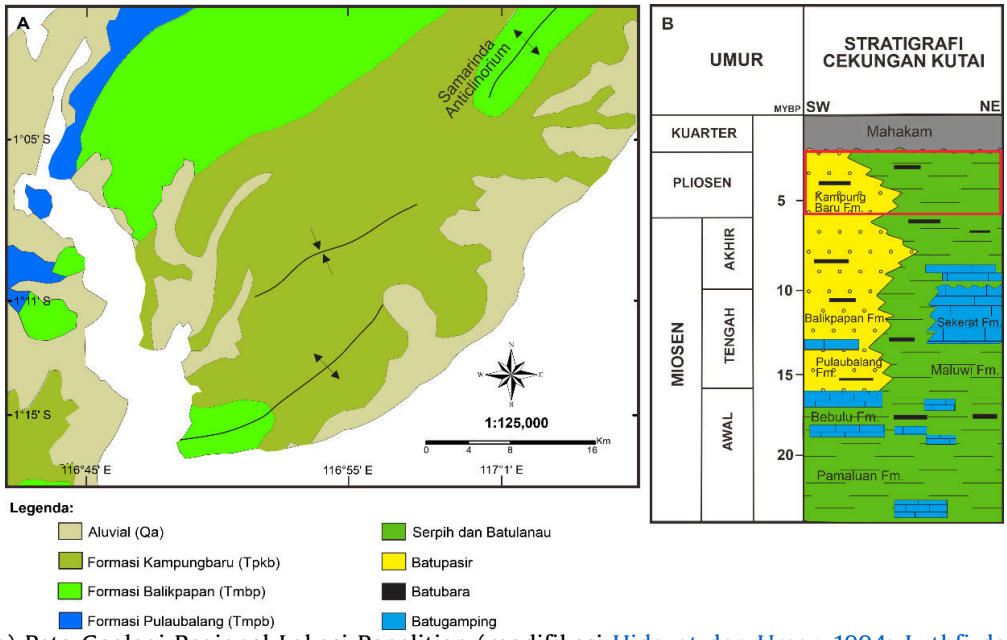
3.1 Analisis *Vitrinite Reflectance* (Ro)

Sampel dipersiapkan dengan memotongnya menjadi bagian kecil, kemudian dimasukkan ke dalam resin epoksi untuk menjaga stabilitas selama proses pengamplasan dan pemolesan. Permukaan sampel dipoles hingga halus dan reflektif menggunakan serangkaian abrasif dengan ukuran partikel semakin kecil. Pengukuran dilakukan menggunakan mikroskop Leica DM 4P yang dilengkapi dengan cahaya non-terpolarisasi pada panjang gelombang 546 nm. Reflektansi diukur secara acak pada 150 partikel vitrinit untuk setiap sampel untuk menghasilkan data persentase pantulan cahaya (%Ro). Nilai rata-rata dari pengukuran tersebut digunakan sebagai indikator tingkat kematangan termal material

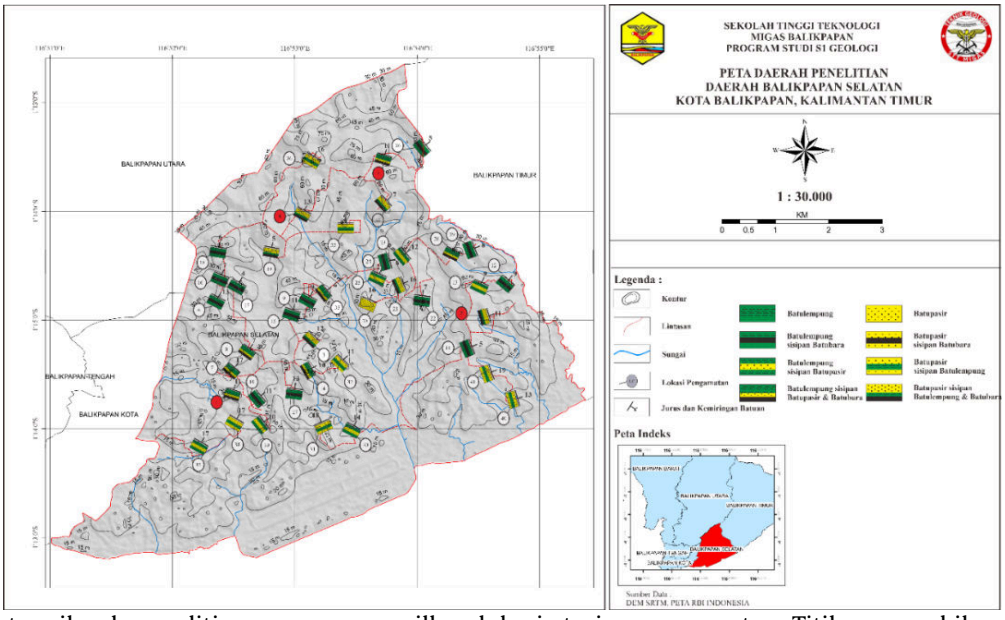
organik. Analisis dilakukan di Montanuniversitat Leoben University, Autsria.

3.2 Analisis X-*Ray Diffraction* (XRD)

Analisis mineral lempung menggunakan *X-ray diffraction* (XRD) dalam penelitian ini dilakukan melalui dua fase utama. Fase pertama melibatkan analisis mineralogi umum yaitu sampel dianalisis menggunakan *difraktometer Panalytical PW 3040/60 X'Pert PRO* dengan radiasi CuKα pada kondisi 40 kV dan 40 mA. Proses ini menghasilkan pola difraksi yang digunakan untuk mengidentifikasi mineral-mineral utama dalam sampel berdasarkan intensitas puncak yang terdeteksi. Fase kedua mencakup analisis fraksi lempung (< 2µm) pada sampel. Pada tahap ini, sampel terlebih dahulu dibersihkan dan dihancurkan menggunakan H_2O_2 untuk menghilangkan materi organik, kemudian disintegrasi dilakukan dengan menggunakan probe ultrasonik 400 W selama 3 menit.



Gambar 1 (a) Peta Geologi Regional Lokasi Penelitian (modifikasi Hidayat dan Umar, 1994; Luthfi dan Sunarwan, 2009); (b) Kolom stratigrafi daerah penelitian (modifikasi Satyana dkk., 1999; Jamaluddin, dkk., 2024a). Daerah penelitian berada pada Formasi Kampungbaru, Cekungan Kutai (kotak merah)



Gambar 2 Peta wilayah penelitian yang menampilkan lokasi stasiun pengamatan. Titik pengambilan sampel yang dilakukan analisis laboratorium (titik merah)

Fraksi lempung dipisahkan menggunakan metode sedimentasi *Atterberg cylinder*, di mana fraksi tersebut diendapkan dalam waktu 24 jam 33 menit. Setelah pemisahan, fraksi lempung dikeringkan pada

Copyright © 2025 Jamaluddin et al.
This work is licensed under the CC-BY-SA license

suhu 60°C, lalu disaturasi dengan ion K^+ dan Mg^{2+}. Sampel sebanyak 10 mg kemudian didispersikan dalam 1 ml air distilasi dan ditempatkan pada kaca objek untuk dikeringkan pada suhu ruangan. Sampel yang telah diorientasi selanjutnya diperlakukan dengan etilen glikol (EG) dan gliserol (Gly) pada suhu 60°C selama 12 jam untuk mencegah pelapisan mineral. Sebagai tambahan, sampel K dipanaskan hingga suhu 550°C selama 2 jam untuk menganalisis perubahan struktural mineral pada suhu tinggi. Analisis XRD dilakukan pada sampel yang telah diproses untuk memperoleh pola difraksi yang kemudian diinterpretasikan secara kualitatif berdasarkan referensi dari Brown dan Brindley (1980) serta Moore dan Reynolds (1989). Analisis tersebut dilakukan di Laboratorium Sedimentologi University of Vienna, Austria.

3.3 Analisis *Scanning Electron Microscope* (SEM)

Analisis menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM) dimulai dengan persiapan sampel. Sampel terlebih dahulu disiapkan sedemikian rupa sehingga memiliki permukaan yang rata dan sesuai untuk analisis mikroskopi. Selanjutnya, sampel dilapisi dengan lapisan karbon menggunakan teknik pelapisan khusus untuk menciptakan permukaan yang konduktif, sehingga memungkinkan interaksi optimal antara sampel dan berkas elektron. Citra *Secondary Electron* (SE) dan *Electron Backscatter Diffraction* (EBSD) dihasilkan menggunakan perangkat Inspect S-50 yang dioperasikan pada tegangan percepatan sebesar 12,50 kV. Analisis dilakukan di University of Vienna, Austria dengan instrumen ini untuk mendapatkan citra dengan resolusi tinggi yang merepresentasikan morfologi permukaan dan struktur kristal dari sampel.

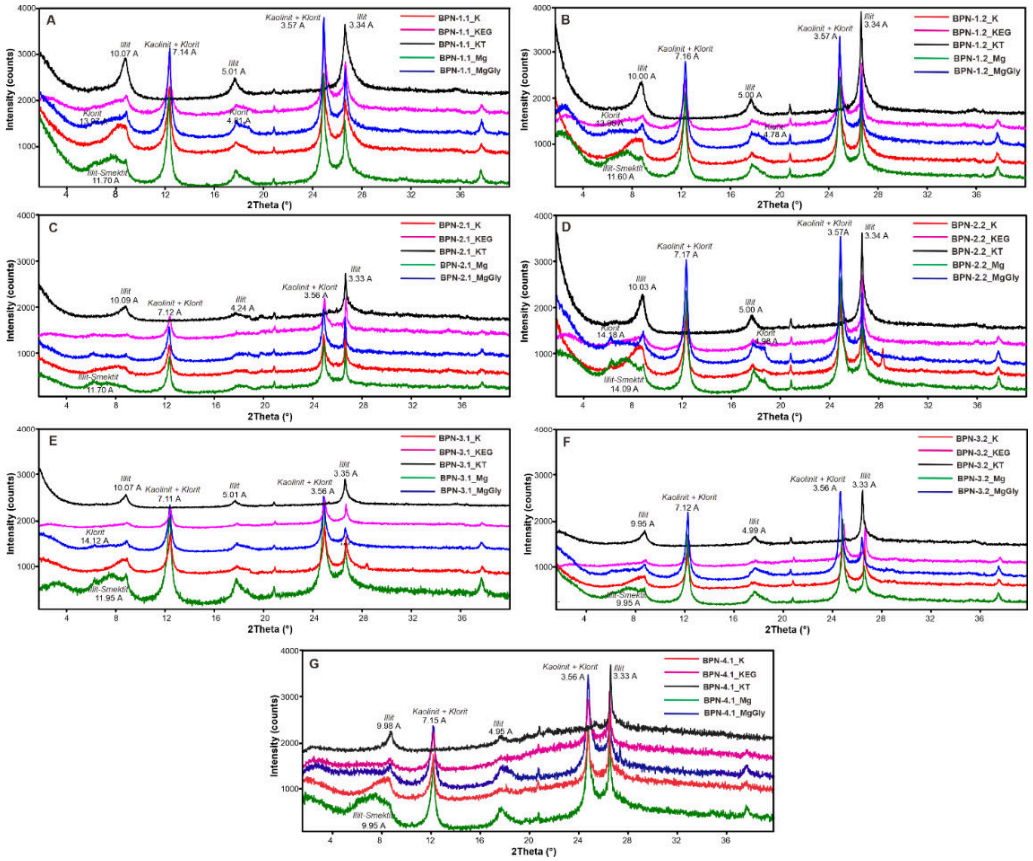
4 Hasil dan Pembahasan

4.1 Analisis Karakterisasi Mineral Lempung Daerah Penelitian

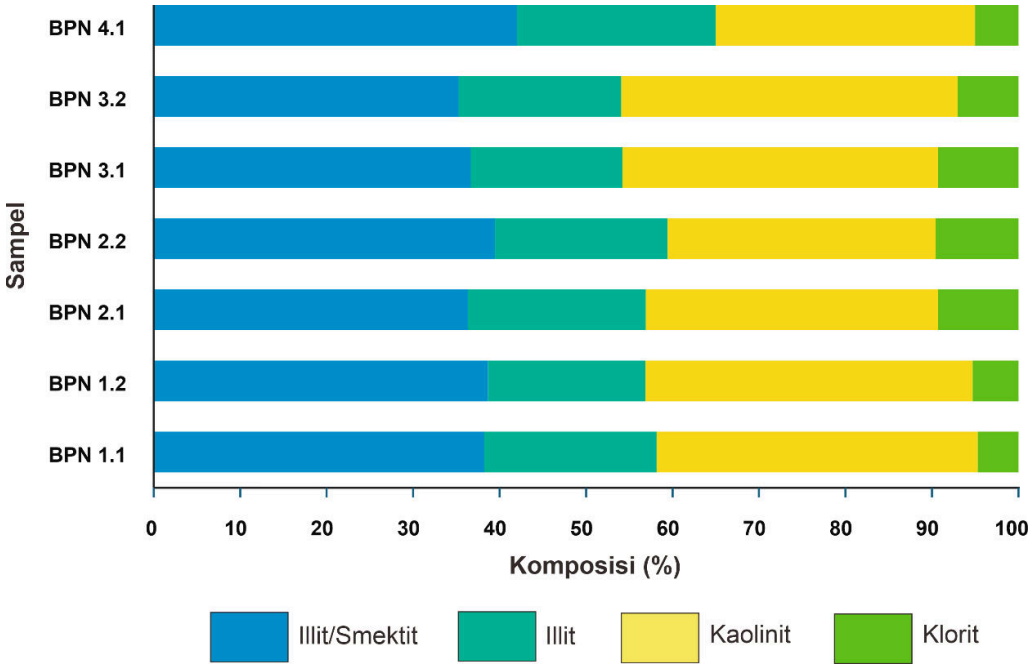
Mineral lempung seperti kaolinit, montmorillonit, dan illit memiliki peran signifikan dalam proses geologi yang menentukan keberadaan minyak bumi. Sifat fisik dan kimia lempung termasuk kemampuan untuk menyerap ion dan air memengaruhi migrasi hidrokarbon dari batuan induk ke reservoir (Grim, 1947; Foscolos dkk., 1976). Karakterisasi mineral lempung di daerah Balikpapan Selatan seperti yang tercermin dalam pola difraksi sinar-X (XRD) (Gambar 3). Secara umum, mineral lempung di daerah tropis seperti Balikpapan seringkali didominasi oleh mineral kaolinit, smektit, dan klorit yang merupakan mineral sekunder hasil pelapukan intensif batuan induk dalam kondisi lingkungan dengan curah hujan tinggi dan suhu yang hangat. Pada data XRD yang disajikan, puncak-puncak intensitas khas untuk kaolinit dan klorit teridentifikasi pada 3.34 Å, 3.57 Å dan 3.56 Å yang menunjukkan dominasi mineral kaolinit sebagai komponen utama (Gambar 3A-G). Hal ini sejalan dengan karakter mineralogi di wilayah tropis seperti Balikpapan Selatan di mana kaolinit terbentuk dari pelapukan feldspar atau batuan induk kaya silika di lingkungan asam (Jamaluddin dkk., 2024c). Dalam penelitian yang dilakukan oleh Allen dkk. (1979), dijelaskan bahwa mineral feldspar yang saat ini sedang terdeposit di delta sudah mengalami perubahan (alterasi) akibat pemadatan di mana bagian tepi mika tersebut membentuk lapisan yang terputus-putus (*disjointed layers*). Hal ini menunjukkan adanya proses perubahan fisik dan kimiawi pada mineral selama transportasi dan pengendapan di lingkungan delta yang berkontribusi pada perubahan struktur dan komposisi sedimen yang ada. Puncak 7.12 Å, 10.07 Å, dan 11.70 Å seperti terlihat pada Gambar 3 juga menunjukkan keberadaan smektit dan klorit. Smektit dikenal memiliki kapasitas tukar kation yang tinggi dan sifat ekspansif karena struktur antar lapisannya fleksibel yang juga bisa dijumpai dalam sampel sedimen daerah tropis yang lebih kaya basa (Gillott, 1968; Raharjo dan lili, 2016).

Persentase mineral lempung yang dianalisis terdiri dari illite/smektit, illit, kaolinit, dan klorit (Gambar 4). Illit/smektit yang mendominasi dengan persentase hingga 42% menunjukkan stabilitas yang sangat baik terhadap suhu dan tekanan tinggi. Mineral ini berperan dalam menjaga kestabilan struktural batuan induk sehingga membantu menjaga kondisi termal yang lebih matang pada daerah penelitian. Illit (18–23%) meskipun tidak sebesar illit/smektit memiliki kontribusi yang stabil dan memberikan indikasi bahwa proses diagenesis di daerah ini telah mencapai tingkat yang signifikan dengan stabilitas yang cukup baik terhadap perubahan termal. Proses dan laju transformasi illit/smektit (I/S) menjadi illit dipengaruhi oleh berbagai faktor lingkungan dan termodinamika. Menurut Fritz (1981), peningkatan suhu secara signifikan memperluas bidang stabilitas termodinamika illit, sehingga mempercepat proses transformasi ini. Kaolinit dengan persentase sekitar 30% - 39% mengindikasikan bahwa proses diagenesis belum sepenuhnya matang. Mineral ini menunjukkan reaktivitas yang lebih tinggi terhadap lingkungan termal yang dapat menyebabkan pematangan organik yang lebih lambat dan kondisi yang lebih muda secara geologi. Adanya klorit dengan proporsi yang lebih kecil (5% - 10%) menunjukkan bahwa mineral ini memiliki dampak yang lebih kecil terhadap proses diagenesis secara keseluruhan. Mineral lempung pada daerah Balikpapan Selatan mengindikasikan bahwa evolusi

termal daerah tersebut masih berada pada tahap awal hingga menengah dengan mineral lempung didominasi oleh kaolinit sebagai indikator temperatur rendah.



Gambar 3 Pola difraksi sinar-X (XRD) dari berbagai sampel pada daerah Balikpapan selatan dengan perlakuan berbeda.

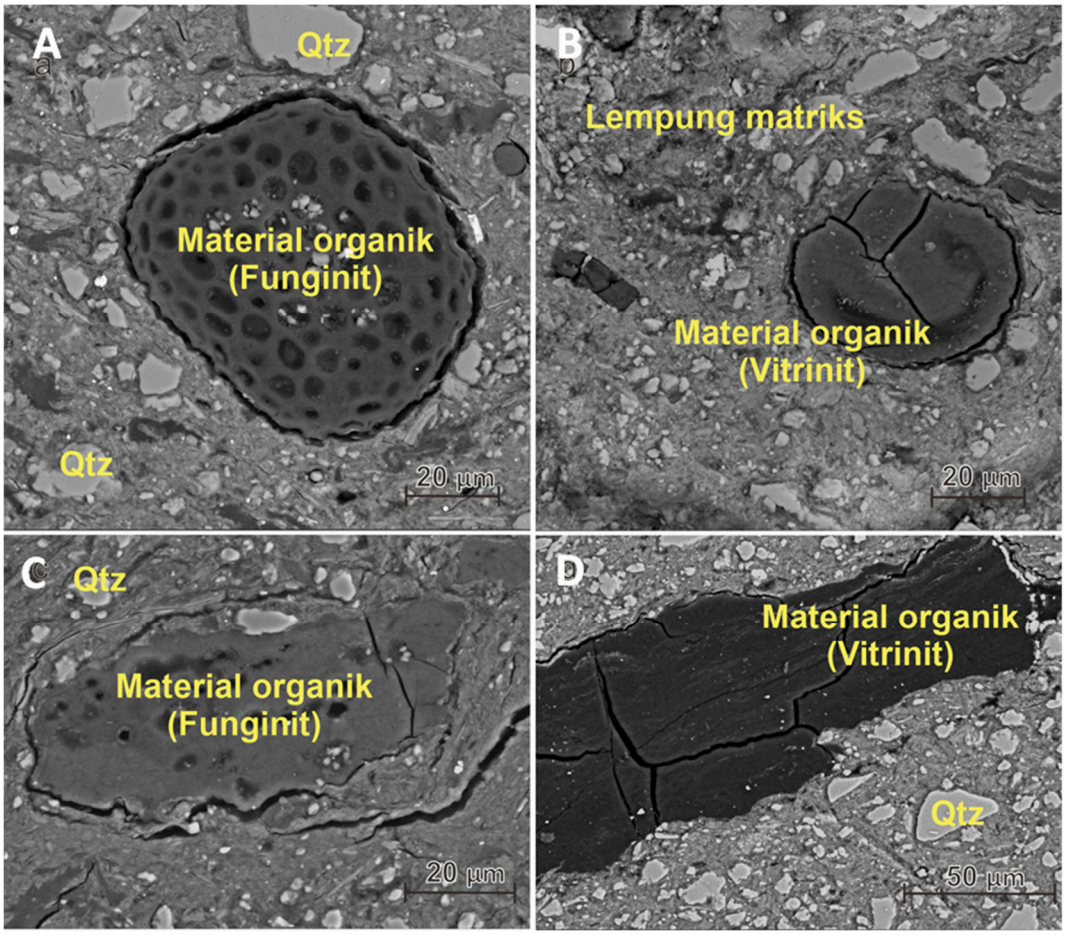


Gambar 4 Persentase komposisi mineral lempung pada sampel batulempung yang terdapat pada daerah Balikpapan Selatan

Gambar 5 menunjukkan mikrograf hasil analisis partikel organik dari sampel yang diamati berdasarkan analisis *Scanning Electron Microscope* (SEM). Material organik yang diidentifikasi dalam sampel tersebut terdapat funginit yang berasal dari sisa-sisa makhluk hidup seperti jamur yang

Copyright © 2025 Jamaluddin et al.
This work is licensed under the CC-BY-SA license

terperangkap dalam matriks sedimen. Sekelilingnya terdapat butiran kuarsa (Qtz) yang menunjukkan dominasi mineral silika pada lingkungan geologi tersebut (Gambar 5a). Fragmen materil organik berupa vitrinit yang merupakan material organik yang telah mengalami proses pematangan akibat tekanan dan panas. Di sekitar fragmen ini, tampak adanya lempung yang menjadi matriks perlindungan bagi material organik (Gambar 5b). Fragmen funginit dengan ciri partikel yang lebih tebal dan padat dikelilingi oleh kuarsa yang menjadi elemen mineral dominan dalam matriks batuan (Gambar 5c). Material organik vitrinit yang retak akibat perlakuan panas dan tekanan dengan kuarsa yang mendominasi sebagai matriks mineral di sekitarnya (Gambar 5d). Lempung yang ditemukan di daerah ini memiliki komposisi mineral yang beragam, seperti kuarsa dan komponen organik (funginit dan vitrinit) yang terperangkap dalam matriks sedimen. Kuarsa yang dominan menunjukkan bahwa lingkungan tersebut telah mengalami diagenesis yang signifikan, sedangkan material organik (funginit dan vitrinit) memberikan informasi tentang proses pematangan termal yang terjadi. Material organik seperti funginit dan vitrinit yang terlihat dalam mikrograf ini menjadi indikator penting dari evolusi termal yang berlangsung. Funginit yang terbentuk dari sisa-sisa jamur menunjukkan lingkungan dengan tingkat pematangan organik yang masih rendah sementara vitrinit yang lebih matang menunjukkan adanya peningkatan suhu dan tekanan yang terjadi selama diagenesis (ICCP,1998; ICCP, 2001). Daerah Balikpapan Selatan yang kaya akan lempung merupakan lokasi di mana interaksi antara material organik dan mineral lempung dapat memberikan pemahaman lebih mendalam tentang sebaran panas di bawah permukaan. Mineral lempung yang hadir di daerah ini seperti illit memiliki kemampuan untuk merekam jejak dari proses pematangan termal yang terjadi.



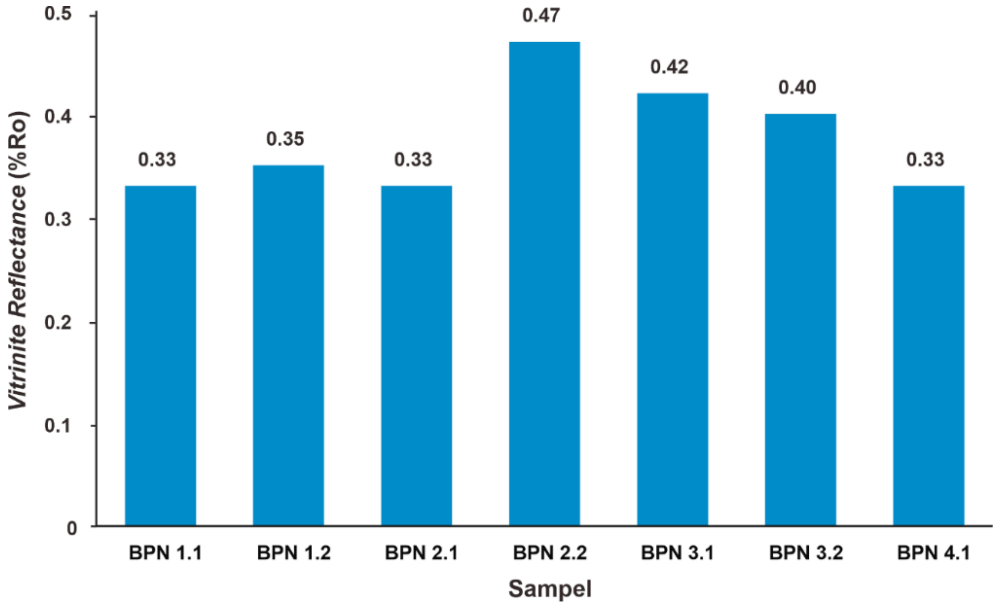
Gambar 5 Karakteristik mikroskopis dari partikel organik (funginit dan vitrinit) yang terkandung dalam sampel batulempung daerah Balikpapan Selatan

4.2 Tingkat Kematangan Termal

Tingkat kematangan termal di Cekungan Kutai sangat dipengaruhi oleh sejarah geologi dan dinamika sedimentasi yang kompleks di wilayah tersebut. Berdasarkan studi reflektansi vitrinit (%Ro), tingkat kematangan termal di cekungan ini menunjukkan variasi mulai dari tahap awal (*immature*) hingga matang (*mature*) tergantung pada kedalaman,

tekanan, dan suhu yang memengaruhi batuan induk (Moore dan Shearer, 2003; Permana dkk.,2018; Jamaluddin dkk., 2024c). Pada zona-zona yang dangkal, material organik cenderung berada pada tahap diagenesis awal di mana belum terjadi transformasi signifikan untuk menghasilkan hidrokarbon. Sebaliknya pada zona-zona yang lebih dalam, terutama di bagian tengah cekungan, material organik telah mengalami peningkatan suhu dan tekanan yang cukup untuk mencapai tahap kematangan termal yang optimal menghasilkan minyak dan gas dalam jumlah signifikan (Colten-Bradley, 1987; van de weerd dkk.,1992; Yuniardi, 2012). Faktor lain yang memengaruhi tingkat kematangan ini termasuk aktivitas tektonik yang menyebabkan pergerakan dan pelipatan batuan serta komposisi batuan induk khususnya kandungan lempung yang berperan sebagai isolator panas atau konduktor. Secara keseluruhan, tingkat kematangan termal di Cekungan Kutai menunjukkan potensi yang besar untuk eksplorasi hidrokarbon dengan sebagian wilayah telah matang secara termal dan siap untuk produksi komersial (Satyana dkk., 1999).

Sedimen di daerah Balikpapan Selatan dengan nilai Ro berkisar antara 0,33 hingga 0,47 menunjukkan bahwa sedimen organik yang terendapkan masih berada pada tahap awal hingga sedang matang (Gambar 6). Nilai ini mengindikasikan bahwa proses pembebasan hidrokarbon (ekspulsi) dari material organik di wilayah ini baru saja dimulai atau sedang berlangsung tetapi belum mencapai tahap kematangan penuh untuk menghasilkan minyak atau gas dalam jumlah besar. Proses diagenesis termal yang memengaruhi sedimen organik berada dalam tahap perkembangan awal hingga menengah di mana material organik belum mengalami transformasi termal yang cukup untuk menghasilkan hidrokarbon yang signifikan. Rendahnya nilai %Ro, seperti pada sampel BPN 1.1, 2.1, dan 4.1 (%Ro 0,33) menunjukkan bahwa sampel-sampel ini mengalami paparan termal rendah atau mungkin dipengaruhi oleh keberadaan lempung yang memiliki sifat isolasi tinggi terhadap panas. Sebaliknya, nilai %Ro yang lebih tinggi pada sampel BPN 2.2 (0,47) dan BPN 3.1 (0,42) menunjukkan adanya evolusi termal yang lebih signifikan. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh komposisi mineral lempung tertentu yang mampu meningkatkan konduktivitas panas sehingga mempercepat peningkatan panas di sedimen tersebut. Secara keseluruhan, wilayah ini memiliki potensi sumber daya hidrokarbon yang masih berada dalam tahap awal pembentukan.



Gambar 6 Nilai *vitrinite reflectance* berkorelasi dengan tingkat evolusi termal pada setiap sampel. Variasi nilai tersebut kemungkinan besar dipengaruhi oleh distribusi panas yang berkaitan erat dengan komposisi mineral lempung pada masing-masing sampel

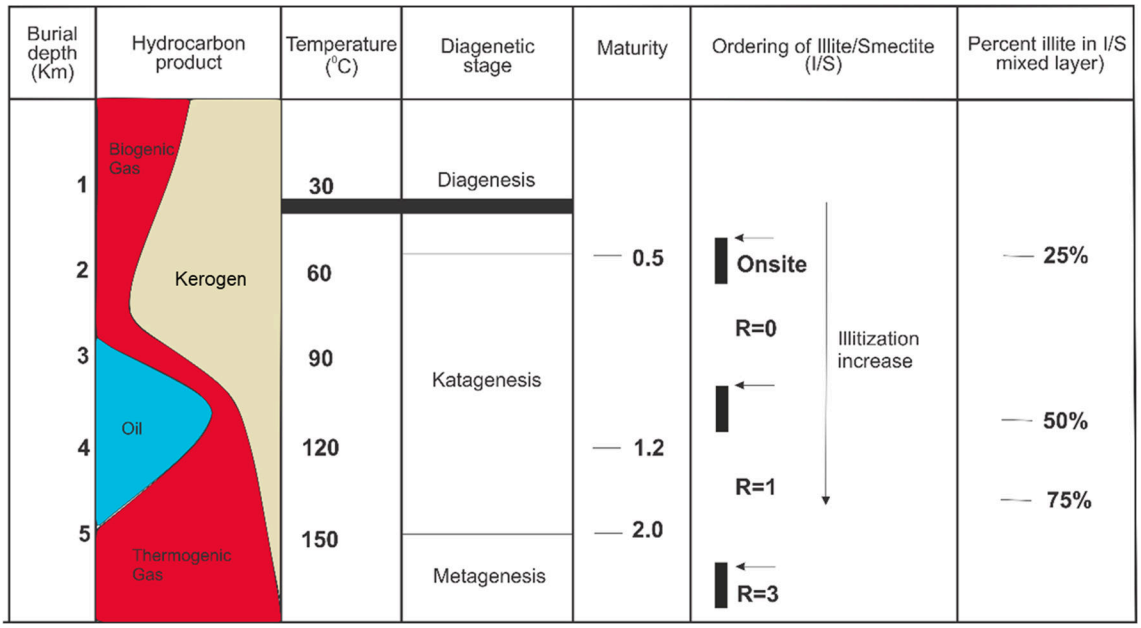
4.3 Implikasi Terhadap Potensi Hidrokarbon pada daerah Penelitian

Analisis XRD terhadap batulempung menunjukkan bahwa mineral lempung yang dominan pada sampel daerah Balikpapan Selatan didominasi oleh mineral illit/smektit dan kaolinit. Illit/smektit mengindikasikan bahwa wilayah penelitian masih berada dalam tahap diagenesis hingga awal katagenesis. Hal ini juga didukung oleh nilai reflektan vitrinit (Ro) yang berkisar antara 0.33% hingga 0.47% yang secara langsung mencerminkan tingkat maturitas termal yang rendah hingga menengah. Keberadaan illit/smektit sebagai mineral dominan dalam sampel menunjukkan bahwa proses illitisasi

Copyright © 2025 Jamaluddin et al.
This work is licensed under the CC-BY-SA license

sedang berlangsung. Proses ini berkaitan erat dengan peningkatan suhu selama diagenesis dan illitisasi meningkat seiring dengan kenaikan suhu dan kedalaman di mana pada tahap awal diagenesis. Dalam hal ini, nilai Ro yang rendah (0.33 – 0.47%) menunjukkan bahwa tahap pengubahan I/S berada pada rentang R=0 hingga R=1 yang sesuai dengan suhu rendah hingga sekitar 90°C. Suhu ini juga mencerminkan kondisi pembentukan gas biogenik yang dominan tanpa adanya konversi signifikan menjadi hidrokarbon cair seperti minyak yang umumnya membutuhkan suhu lebih tinggi (90–150°C) (Gambar 7).

Selain illit/smektit, kandungan kaolinit yang cukup tinggi (30 – 39%) menunjukkan bahwa proses alterasi termal belum terlalu intens karena kaolinit cenderung stabil pada suhu rendah hingga sedang. Hal ini juga didukung oleh kandungan klorit yang relatif rendah (5 – 10%) yang umumnya menunjukkan lingkungan dengan aktivitas termal yang tidak terlalu intens. Komposisi mineral lempung ini memberikan gambaran bahwa sistem geologi di wilayah penelitian masih berada pada tahap awal evolusi termal di mana aktivitas geokimia utama yang terjadi adalah transformasi awal mineral lempung dan produksi gas biogenik dari material organik yang terperangkap. Dalam konteks hidrokarbon, tingkat maturitas termal yang rendah hingga menengah membatasi potensi pembentukan minyak dan gas termogenik. Suhu yang masih berada di bawah 90°C mendukung dominasi gas biogenik yang dihasilkan dari proses diagenesis awal. Untuk dapat menghasilkan hidrokarbon cair seperti minyak diperlukan peningkatan kedalaman penguburan yang memungkinkan suhu mencapai kisaran 90 – 120°C (Jiang, 2012). Namun, wilayah ini belum mencapai kondisi tersebut sehingga potensi utama hidrokarbon yang dapat dieksplorasi saat ini adalah gas biogenik. Secara keseluruhan mineralogi lempung dan parameter termal di wilayah penelitian mencerminkan tahap awal proses geotermal yang sangat penting untuk memahami evolusi sistem hidrokarbon. Keberadaan mineral illit/smektit, illit, kaolinit, dan klorit memberikan indikasi bahwa suhu belum cukup untuk mendukung transformasi signifikan material organik menjadi hidrokarbon cair. Namun, potensi gas biogenik tetap menjadi aspek yang dapat diperhitungkan terutama untuk eksplorasi dalam kondisi termal rendah seperti di wilayah ini.



Gambar 7 Perubahan termal dan geokimia dari diagenesis hingga metagenesis yang memengaruhi potensi pembentukan gas biogenik, minyak, dan gas termogenik seiring peningkatan kedalaman dan suhu.

5 Kesimpulan

Komposisi mineral lempung dalam batu-lempung di Balikpapan Selatan memiliki pengaruh signifikan terhadap evolusi termal batuan induk. Dominasi mineral illit/smektit (35–42%) berperan dalam meningkatkan retensi panas lokal yang dapat mempercepat proses maturasi termal. Kehadiran mineral kaolinit (30–39%) berkontribusi terhadap kestabilan termal batuan induk karena sifatnya yang inert pada suhu sedang, sementara mineral illit (18–23%) memberikan kontribusi tambahan meskipun dalam tingkat yang lebih rendah dibandingkan kaolinit. Selain itu, klorit (5–10%) berpotensi meningkatkan reaktivitas kimia pada suhu tinggi, yang dapat memicu reaksi metamorfosa ringan dalam batuan. Berdasarkan nilai reflektansi vitrinit (Ro) yang berkisar antara 0,33% hingga 0,47%, tingkat maturitas termal batuan induk di daerah ini tergolong dalam tahap awal hingga menengah yang mengindikasikan bahwa

batulempung tersebut belum mencapai kondisi optimal untuk pembentukan hidrokarbon dalam jumlah signifikan. Secara keseluruhan, evolusi termal batuan induk di Balikpapan Selatan masih berada dalam jendela minyak (*oil window*) dengan tingkat maturasi yang dipengaruhi oleh variasi suhu dan tekanan lokal sehingga proses pembentukan minyak dan gas masih dalam tahap perkembangan awal hingga menengah.

Disarankan untuk melakukan penelitian lebih lanjut terkait faktor geologi, seperti sejarah pengendapan dan tekanan *overburden* yang mempengaruhi evolusi termal batuan induk di Balikpapan Selatan. Pengujian laboratorium terhadap pengaruh suhu dan tekanan, serta analisis geokimia organik seperti TOC dan *Rock-Eval Pyrolysis*, perlu dilakukan untuk menentukan potensi hidrokarbon. Pemodelan termal cekungan dan studi perbandingan dengan daerah lain di Cekungan Kutai dapat memberikan pemahaman yang lebih mendalam. Selain itu, penerapan teknik geofisika, seperti seismik refleksi dan well logging dapat membantu mengiden-tifikasi zona maturasi termal yang lebih tinggi. Dengan studi lebih lanjut, eksplorasi hidrokarbon di Balikpapan Selatan dapat dioptimalkan secara lebih efektif.

Referensi

Allen, G.P. & Chambers, J.L.C. 1998. Sedimentation in the Modern and Miocene Mahakam Delta. Jakarta, Indonesia, Indonesian Petroleum Association, p. 236.

Allen, G. P., Laurier, D., & Thouvenin, J. 1979. Etude sédimentologique du delta de la Mahakam. Notes et Mémoires, 15, Compagnie Française des Pétroles, 156 p.

Brown, G. and Brindley, G.W. 1980. X-Ray Diffraction Procedures for Clay Mineral Identification. In: Brown, G. and Brindley, G.W., Eds., Crystal Structures of Clay Minerals and Their X-Ray Identification, Mineralogical Society, London, pp. 305-359. https://doi.org/10.1180/mono-5.5

Bruce, C. H. 1984. Smectite dehydration--Its relation to structural development and hydrocarbon accumulation in northern Gulf of Mexico Basin. AAPG Bulletin, 68(6), pp. 673-683. https://doi.org/10.1306/AD461363-16F7-11D7-8645000102C1865D

Colten-Bradley, V. A. 1987. Role of pressure in smectite dehydration: effects on geopressure and smectite to illite transformation. AAPG Bulletin, 71, pp. 1414–1427.

Foscolos, A. E., Powell, T. G., & Gunther, P. R. 1976: The use of clay minerals and inorganic and organic geochemical indicators for evaluating the degree of diagenesis and oil generating potential of shales. Geochimica et Cosmochimica Acta, 40(8), pp. 953-966. https://doi.org/10.1016/0016-7037(76)90144-7

Fritz, B. 1981. Etude thermodynamique et simulation des réactions hydrothermales et diagénétiques", Sciences Géologiques Mémoire 65, 179 p.

Gillott, JE. 1968. Clay in Engineering Geology, Elsevier Publishing Co., Amsterdam

Grim, R. E. 1947. Relation of clay mineralogy to origin and recovery of petroleum. AAPG Bulletin. 31(8), pp. 1491-1499. https://doi.org/10.1306/3D933A1F-16B1-11D7-8645000102C1865D

Hidayat, S., & Umar, I. 1994. Peta Geologi Lembar Balikpapan, Kalimantan Timur. Bandung, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi

ICCP (International Committee for Coal and Organic Petrology). 1998. The new vitrinite classification (ICCP System 1994). Fuel, 77(5), pp. 349– 358. https://doi.org/10.1016/S0016-2361(98)80024-0

ICCP (International Committee for Coal and Organic Petrology). 2001. The new inertinite classification (ICCP System 1994). Fuel, 80(4), pp. 459– 471. https://doi.org/10.1016/S0016-2361(00)00102-2

Jamaluddin, Rahmawati, D. & Maria. 2024a. Analisis Lingkungan Pengendapan dan Karakteristik Material Organik Daerah Air Putih, Kota Samarinda, Indonesia. Jurnal Geosains dan Teknologi. 6(3), pp. 203-214. https://doi.org/10.14710/jgt.6.3.2023.203-214

Jamaluddin, Schöpfer, K., Wagreich, M., Maria, Gier, S., & Fathy, D. 2024b. 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(6), pp. 164. https://doi.org/10.3390/geosciences14060164

Jamaluddin, Wagreich, M., Schöpfer, K., Sachsenhofer, R., Maria, & Rahmawati, D. 2024c. Hydrocarbon potential and depositional environment of the Middle Miocene Balikpapan Formation, lower Kutai Basin, Indonesia:

Copyright © 2025 Jamaluddin et al.
This work is licensed under the CC-BY-SA license

Sedimentology, calcareous nannofossil, organic geochemistry, and organic petrography integrated approach. International Journal of Coal Geology, 293, 104591. https://doi.org/10.1016/j.coal.2024.104591

Jiang, S. 2012. Clay Minerals from the Perspective of Oil and Gas Exploration. *In:* Valaskova, M. & Simha Martynková, G. y. (eds.) Clay Minerals in Nature - Their Characterization, Modification and Application. London: IntechOpen. https://doi.org/10.5772/47790

Luthfi, M. & Sunarwan, B. 2009. Tinjauan Geologi Terhadap Potensi dan Tingkat Kerawanan Bahaya Longsor di Kota Balikpapan-Kalimantan Timur. Jurnal Teknologi, 10(1), pp. 9-28. https://doi.org/10.33751/teknik.v10i1.876

Moore, D.M., Reynolds, R.C., Jr. 1989. X-ray Diffraction and the Identification and Analysis of Clay Minerals. Oxford University Press (OUP). Oxford, UK.

Moore, T.A. & Shearer, J.C. 2003. Peat/coal type and depositional environment—are they related? International Journal of Coal Geology, 56(3-4), pp. 233-252. https://doi.org/10.1016/S0166-5162(03)00114-9

Permana, A. K., Sendjadja, Y. A, Panggabean, H., & Fauxely, L. 2018. Depositional Environment and Source Rocks Potential of the Miocene Organic-Rich Sediments, Balikpapan Formation, East Kutai Sub-Basin, Kalimantan. Jurnal Geologi dan Sumberdaya Mineral, 9(3), pp. 171-186. https://doi.org/10.33332/jgsm.geologi.v19i3.407

Raharjo, P. & Sarmili, L. 2016. Keterdapatan Mineral Lempung Smektit yang Mempunyai Sifat Plastisitas Tinggi di Perairan Cirebon, Jawa Barat. Jurnal Geologi Kelautan, 14 (1). pp. 53-64. http://dx.doi.org/10.32693/jgk.14.1.2016.339

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(1), pp. 99-122. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0743-9547(98)00059-2

Van de Weerd, A.A., & Armin, R.A. 1992. Origin and evolution of the Tertiary hydrocarbon bearing basins in Kalimantan Borneo, Indonesia. AAPG Bulletin. 76(11), pp. 1778–1803. https://doi.org/10.1306/BDFF8ACE-1718-11D7-8645000102C1865D

Yuniardi, Y. 2012. Petroleum system Cekungan Kutai Bagian Bawah, Daerah Balikpapan dan Sekitarnya, Propinsi Kalimantan Timur. Bulletin of Scientific Contribution, 10(1). pp. 12-17.