



Analisis Lingkungan Pengendapan dan Karakteristik Material Organik Daerah Air Putih, Kota Samarinda, Indonesia

Jamaluddin^{1*}, Diana Rahmawati², Maria³

¹Program Studi Teknik Geologi, Sekolah Tinggi Teknologi Migas Balikpapan, Balikpapan

²Program Studi Teknik Geologi, Fakultas Teknik, Universitas Mulawarman, Samarinda

³Departemen Geofisika, Universitas Hasanuddin, Makassar

Abstrak

Penelitian tentang lingkungan pengendapan dan karakteristik material organik pada serpih dan batubara yang terdapat pada daerah Air Putih, Kota Samarinda sangat penting untuk dikaji sebagai indikator kemampuan suatu batuan sedimen untuk menghasilkan hidrokarbon. Daerah penelitian termasuk kedalam Formasi Balikpapan yang kaya bahan organik. Stratigrafi batuan sedimen yang dijumpai daerah penelitian merupakan asosiasi fasies *prodelta shales* yang *prograding* menjadi *delta front mouth bar*. Nilai TOC pada percontoh batuan yang terdapat pada daerah penelitian berkisar 0,62 % - 64,39 % yang terdiri atas batulanau, serpih, dan batubara. Material organik pada Daerah Air Putih sebagian besar terendapkan di lingkungan laut dan beberapa sampel terendapkan pada lingkungan air tawar dalam kondisi reduksi. Komposisi maseral batubara pada sampel SMC daerah Air Putih terdiri atas huminit 73%, liptinit 26% dan inertinit 1% sedangkan serpih terdiri atas vitrinit 55%, liptinit 43% dan inertinit 2%. Akumulasi material organik pada daerah Air Putih pada umumnya berasosiasi dengan serpih hitam dan batubara pada lingkungan *delta plain* umumnya berupa material organik asal darat.

Kata kunci: Daerah Air Putih; Formasi Balikpapan; Lingkungan Pengendapan; Maseral.

Abstract

The depositional environment and organic material characteristics of shale and coal in the Air Putih area, Samarinda City, are crucial to be studied as an indicator of the ability of sedimentary rock to produce hydrocarbons. The research area is included in the Balikpapan Formation, which is rich in organic matter. The stratigraphy of sedimentary rocks found in the study area is an association of prodelta shale facies progressing to become delta front mouth bars. TOC values in rock samples of the study area range from 0.62% to 64.39%, consisting of siltstone, shale, and coal. Organic materials in the Air Putih area were mainly deposited in a marine environment, and some were deposited in a freshwater environment under reduction conditions. The maceral composition of coal in the SMC sample of the Air Putih area consists of 73% huminite, 26% liptinite, and 1% inertinite, while the shale consists of 55% vitrinite, 43% liptinite, and 2% inertinite. The accumulation of organic material in the Air Putih area is generally associated with black shale and coal in a delta plain environment, which is generally an organic matter of terrestrial origin.

Keywords: Air Putih Area; Balikpapan Formation; Depositional Environment; Maceral.

PENDAHULUAN

Material organik (*organic matter*) pada batuan sedimen merupakan hal yang sangat penting dalam berbagai aspek bidang geologi seperti penilaian potensi batuan induk. Kehadiran bahan organik pada batuan sedimen sangat dipengaruhi oleh lingkungan pengendapan dengan kondisi oksidasi tinggi sehingga organisme sangat mudah

mengalami proses pembusukan (Doner dkk., 2019). Bahan organik seperti maseral banyak terdapat pada batuan serpih dan batubara yang berasosiasi dengan bahan anorganik yang terbentuk melalui beberapa mekanisme seperti proses biogenik, singenetik, diagenetik, dan epigenetik (Ward, 2016; Permana dkk., 2018).

*) Korespondensi : jamaluddin@sttmigas.ac.id

Diajukan : 21 Juli 2023

Diterima : 3 November 2023

Diterbitkan : 16 April 2024

Kekayaan material organik pada sedimen yang terdapat pada daerah Air Putih, Samarinda merupakan salah satu indikator sebagai batuan induk untuk menggenerasikan hidrokarbon pada Cekungan Kutai. Tipe material organik yang terdapat dalam batuan sedimen tersebut dipengaruhi oleh komposisi maseral. Adapun faktor yang mempengaruhi perbedaan komposisi maseral yang terdapat di dalam suatu batuan adalah kondisi lingkungan pengendapan, asal material organiknya, dan iklim pada saat sedimen terendapkan (Scott, 2002).

Daerah penelitian berada pada Formasi Balikpapan yang tersusun atas sedimen kaya bahan organik yang mampu menjadi batuan induk sehingga memiliki kemampuan yang bagus dalam menggenerasikan hidrokarbon pada Cekungan Kutai. Stratigrafi di daerah ini menampilkan siklus transgresi dan regresi, di mana fasa regresi menjadi lebih dominan. Wilayah ini memulai sejarahnya pada zaman Tersier, mungkin pada kala Eosen, dengan adanya suatu periode transgresi yang kemudian diikuti oleh fasa regresi yang mendominasi cekungan ini sepanjang Tersier dan Kuartar. Data stratigrafi mengindikasikan bahwa pengisian cekungan ini terjadi secara progradasi dari barat ke timur, dengan ketebalan maksimum lapisan sedimen yang mengendap di setiap tahap Tersier (Satyana, 1999). Tatanan stratigrafi lembar Samarinda yang diurutkan dari muda ke tua adalah Aluvial (*Qa*), Formasi Kampungbaru (*Tpkb*), Formasi Balikpapan (*Tmbp*), Formasi Pulaubalang (*Tmpb*), Formasi Bebuluh (*Tmb*), dan Formasi Pamaluan (*Tomp*) (Gambar 1) (Satyana, 1999). Penelitian berada dalam Formasi Balikpapan mengacu pada Peta Geologi Lembar Samarinda oleh Supriatna, dkk (1995). Menurut Supriatna, dkk (1995), Formasi Balikpapan memiliki karakteristik sikuen paparan-dataran delta yang tersusun atas perselingan batupasir dan batulempung dengan sisipan batupasir dan batubara. Fasies ini sangat khas dan tersingkap dengan baik di lokasi penelitian.

Berdasarkan penelitian sebelumnya, formasi ini memiliki ketebalan mencapai lebih dari 3000 m, sehingga diperkirakan dapat menghasilkan hidrokarbon dengan jumlah yang cukup banyak (Hadipandoyo dkk., 2007). Namun demikian, kajian geokimia organik untuk menganalisis lingkungan pengendapan dan karakteristik

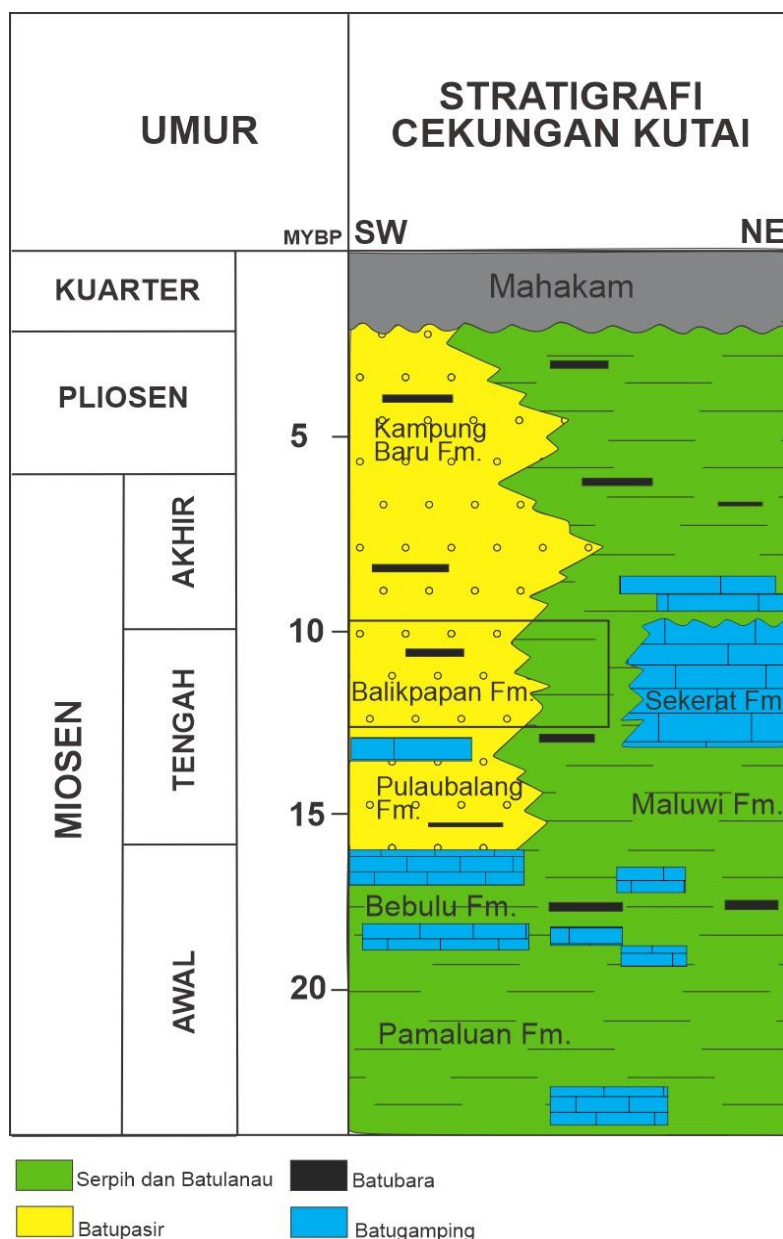
material organik pada formasi ini masih sangat terbatas. Berdasarkan latar belakang tersebut, maka penelitian ini sangat penting dilakukan untuk mengkaji kondisi lingkungan pengendapan dan material organik pada sedimen yang terdapat pada Daerah Air Putih, Samarinda. Dalam penelitian ini, analisis data lapangan yang direkonsiliasi dengan hasil analisis petrologi organik memberikan suatu *insight* yang menarik dan penyimpulan lingkungan pengendapan secara tepat.

METODOLOGI

Data primer yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari data lapangan dan data analisis/uji laboratorium. Data primer merupakan data *fieldwork* di singkapan yang berada di area sekitar Rumah Sakit SMC Samarinda. Adapun sampel yang digunakan di dalam penelitian tersebut terdiri atas batulanau, serpih, dan batubara. Sebanyak 10 contoh batuan yang berasal dari singkapan tersebut yang akan dilakukan analisis TOC (*total organic carbon*) dan 2 contoh batuan yang akan dilakukan analisis petrologi organik (Gambar 2).

Metode pembuktian yang dilakukan dalam penelitian ini menggunakan kombinasi Metode Deduksi dan Metode Generalisasi Fungsional, yaitu mengacu pada hukum-hukum stratigrafi yang berlaku untuk menemukan hubungan empiris antara dua gejala geologi yang berbeda. Langkah-langkah analisis fasies diawali dengan pembuatan rekaman stratigrafi terukur dengan skala 1:100 dan penyimpulan lingkungan pengendapan mengacu kepada tahapan menurut Walker dan James (1992). Dalam penelitian ini, gejala geologi yang dibahas dalam penelitian ini adalah suksesi litofasies dan analisis material organik (maseral) yang akan diintegrasikan untuk menganalisis lingkungan pengendapan daerah Air Putih, Kota Samarinda.

Pengambilan sampel batuan dilakukan secara *stratified random sampling* yaitu penentuan titik sampel batuan dilakukan berdasarkan formasi batuan dan secara random. Data utama dalam penelitian adalah data permukaan (*surface mapping data*). Metode pemrosesan data yang digunakan adalah menggunakan metode analisis bertingkat (*multi-stage processing method*) yang terdiri atas analisis data pemetaan geologi, analisis karbon organik (TOC) dan analisis komposisi maseral.



Gambar 1. Kolom stratigrafi daerah penelitian (modifikasi Satyana dkk., 1999; Jamaluddin, dkk., 2023). Daerah penelitian berada pada Formasi Balikpapan, Cekungan Kutai yang berumur Miosen Tengah (kotak hitam).

Analisis Karbon Organik (TOC) dan Sulfur

Pengukuran kandungan TOC dan sulfur dilakukan menggunakan alat analisis *Eltra Helios C/S*. Sampel dibersihkan terlebih dahulu kemudian dilakukan proses pengeringan menggunakan oven dengan temperatur 40 °C selama 24 jam. Sampel yang telah dikeringkan kemudian dihaluskan hingga berbentuk serbuk dengan alat *grundes*. Berat sampel yang digunakan untuk evaluasi total karbon organik dan sulfur masing-masing sekitar 60 – 80 mg.

Analisis Komposisi Maseral

Analisis komposisi maseral dilakukan pada sampel serpih dan batubara yang memiliki nilai TOC tinggi. Petrologi organik dilakukan untuk mengetahui komposisi maseral pada setiap contoh sayatan poles (*polished block*) menggunakan sinar putih (*reflected white light*) dan sinar fluoresen (*reflected fluorescent light*) di bawah mikroskop *Leica MPV*. Standar dan prosedur mengenai pengujian petrografi organik berdasarkan klasifikasi ICCP (1993; 1998; 2001).

HASIL

Pengukuran stratigrafi yang dilakukan menghasilkan rekaman batuan setebal ± 60 meter dari dua jalur yang berbeda. Berdasarkan pengukuran tersebut, stratigrafi penyusun batuan sedimen di daerah penelitian termasuk dalam 2 parasikuen utama, yaitu parasikuen deltaik (*deltaic parasequences*) dan parasikuen laut dangkal (*shallow marine parasequence*) (Gambar 3).

Deltaic parasequence terdiri dari beberapa siklus *deltaic* yang ditandai dengan hadirnya asosiasi fasies *prodelta shales*, *prograding delta front mouth bars* dan *coal bed* yang hadir menunjukkan siklus pengendapan regresif. Siklus ini semakin diperjelas dengan adanya perubahan dari asosiasi fasies *prodelta shales* menjadi

asosiasi *proximal delta front deposit* yang ditandai dengan proses fluvial yang bekerja membentuk *stacked-amalgamated deposit* berupa endapan sungai bersusun (*multi-story channel*) (Gambar 4).

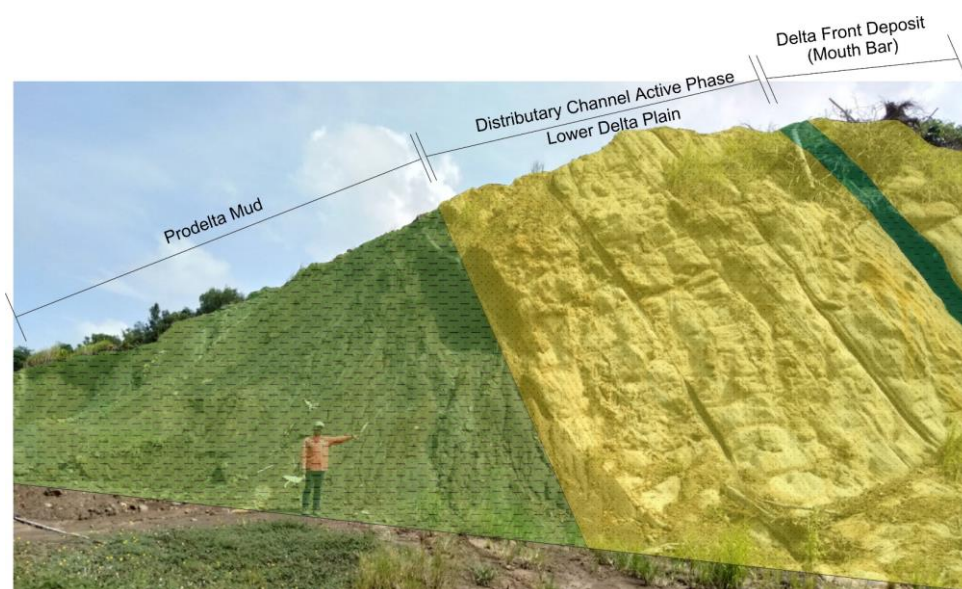
Asosiasi fasies *distributary channel* pada *tidal influenced lower delta plain* semakin diperjelas dengan kehadiran fasies batupasir sedang hingga kasar non karbonatan yang secara gradual berubah menjadi endapan *delta front*. Pada fasies ini dijumpai adanya struktur sedimen *trough cross bedding* sehingga diinterpretasikan merupakan bagian dari *distributary channel* dan endapan yang masif dengan ketebalan 1.3-1.5 m. Rekaman fosil daun terpreservasi dengan baik pada fasies ini (Gambar 5).



Gambar 2. Sebaran titik pengambilan sampel pada singkapan daerah Air Putih, Kota Samarinda.



Gambar 3. Stratigrafi penyusun batuan sedimen di daerah Air Putih, Kota Samarinda yang terdiri atas 2 parasekuensi yaitu parasekuensi deltaik dan parasekuensi laut dangkal.



Gambar 4. Perubahan fasies yang jelas dari endapan *prodelta shales* (kiri) menjadi endapan *tidal-influenced lower delta plain* (kanan). Terlihat endapan *distributary channel* hadir sebagai endapan yang lebih muda dan menunjukkan indikasi pendangkalan dalam satu siklus deltaik.



Gambar 5. Fosil daun pada endapan batupasir *distributary channel* deposit.

Shallow marine parasequence yang dijumpai berupa *turbidite-calcareous deposit* yang hadir pada lapisan atas dari *deltaic sequence*. Kehadiran parasekuensi laut dangkal ini menjadi kunci dinamika sedimentasi berakhirnya siklus regresif dan mengindikasikan peralihan siklus pengendapan transgresif (Gambar 6).

Kandungan Karbon Organik (TOC) dan Sulfur

Tabel 1 menunjukkan hasil kandungan TOC dan sulfur dari sampel yang telah dianalisis menggunakan *Eltra Helios C/S analyzer*.

Kandungan TOC yang terdapat pada batuan umumnya digunakan untuk memberikan informasi tentang jumlah kekayaan bahan organik selama pengendapan (Peter dan Cassa, 1994). Sampel yang dianalisis terdiri atas batulanau, serpih, dan batubara. Nilai TOC pada 2 (dua) percontoh batulanau berkisar antara 0,62 % - 0,78% sedangkan sulfur berkisar 0,16 % - 0,28 %. 6 (enam) percontoh serpih dengan nilai TOC berkisar antara 1,42 % - 1,81 % dan sulfur 0,11 % - 0,51 %. 2 (dua) percontoh batubara dengan nilai TOC berkisar 14,31 % - 64,39 % dan sulfur 1,16 % - 2,20 % (Tabel 1).

Komposisi maseral

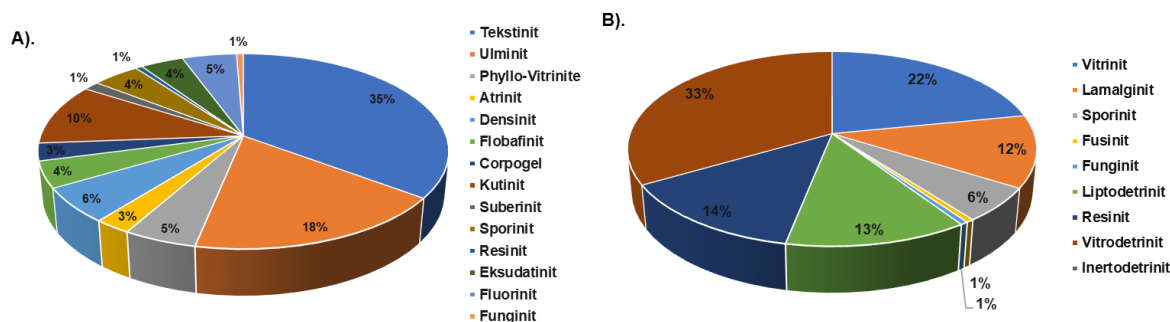
Pengujian komposisi maseral pada Daerah Air Putih, Kota Samarinda dilakukan pada 2 (dua) percontoh sampel yang terdiri atas 1 percontoh serpih dan 1 percontoh batubara. Percontoh sampel batubara terdiri atas kelompok maseral huminit 73% (tekstinit 35%, ulminit 18%, phyllovitrinit 5%, atrinit 2%, densinit 6%, flobafinit 4%, corpogelinit 3%), kelompok maseral liptinit 26 % (kutinit 10%, suberinit 1%, sporinit 4%, resininit 2%, eksudatinit 4%, fluorinit 5%) dan kelompok maseral inertinit yang terdiri atas funginit 1%. Percontoh sampel serpih terdiri atas kelompok vitrinit 55%, liptinit 43% dan inertinit 2% (Gambar 7).



Gambar 6. Transisi lingkungan prodelta (kiri) menuju lingkungan laut dangkal (kanan).

Tabel 1. Hasil analisis serpih dan batulempung menggunakan *Eltra Helios C/S analyzer*

Kode sampel	Litologi	TOC (%)	TS (%)	TS/TOC
SMC 1	Serpih	1,81	0,17	0,09
SMC 2	Batubara	14,31	1,16	0,08
SMC 3	Serpih	1,47	0,49	0,33
SMC 4	Batubara	64,39	2,20	0,03
SMC 5	Serpih	1,42	0,29	0,20
SMC 6	Batulanau	0,62	0,28	0,45
SMC 7	Serpih	1,65	0,30	0,18
SMC 8	Serpih	1,49	0,23	0,15
SMC 9	Serpih	1,42	0,11	0,08
SMC 10	Batulanau	0,78	0,16	0,21



Gambar 7. Persentase komposisi Maseral pada sampel (A). Batubara, (B). Serpih pada Daerah Air Putih, Kota Samarinda.

PEMBAHASAN

Fasies dan Lingkungan Pengendapan

Penentuan fasies pengendapan secara tepat merupakan salah satu kunci interpretasi lingkungan pengendapan yang kuat. Di area penelitian terdapat 3 (tiga) sub-lingkungan pengendapan delta yaitu Fasies *Prodelta shales*, Asosiasi fasies *Proximal Delta Front*, dan Asosiasi fasies *distributary channel* (Gambar 8).

1. Fasies *Prodelta shales*

Fasies ini menjadi awal dimulainya siklus deltaik yang ada di area penelitian dan dicirikan oleh endapan lempung hitam yang konstan dengan ketebalan yang dapat diperhitungkan (Cibaj dkk, 2014). Batulempung hitam ini memiliki karakteristik yang menyerpih. Hal ini turut membuktikan bahwa selama Miosen, terjadi beberapa siklus regresif-transgresif yang berulang (Moss dan Chambers, 1999; Satyana dkk, 1999; Darman dan Sidi, 2000).

2. Asosiasi Fasies *Proximal Delta Front*

Asosiasi fasies *proximal delta front* dicirikan oleh endapan *prograding mouth bar deposit*. Endapan ini memiliki ciri yaitu interkalasi tipis batupasir dengan batulanau dan batulempung. Struktur sedimen yang mendominasi yaitu *wavy*, *lentikuler* dan *flaser bedding*, serta laminasi *ripple* yang sangat melimpah pada anggota fasies ini. Asosiasi ini menginterpretasikan bahwa telah terjadi pendangkalan atau siklus regresif di proto-delta Mahakam.

3. Asosiasi Fasies *Tidal Influenced-Lower Delta plain*

Asosiasi fasies *tidal influenced-lower delta plain* pada daerah penelitian dibuktikan oleh endapan

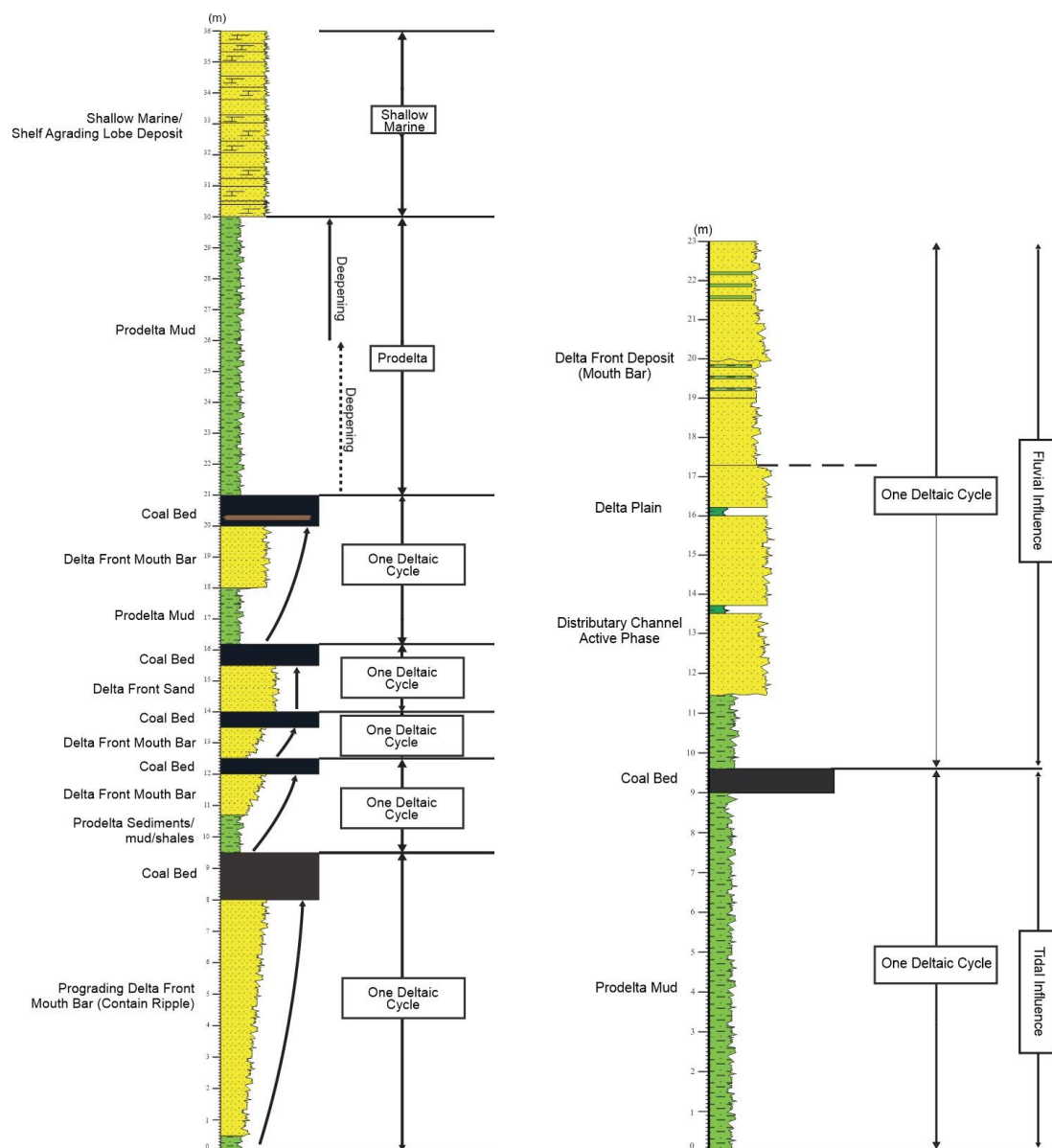
distributary channel yang memiliki struktur sedimen silang siur diinterpretasikan diendapkan pada fase aktif suatu *channel*. Pengaruh pasang surut ditunjukkan dari keterdapatannya laminasi berwarna hitam pada batupasir berwarna cerah. Fosil daun ditemukan sebagai bukti yang jelas terjadinya pendangkalan oleh turunnya muka air laut relative selama Miosen (Satyana dkk, 1999).

4. Asosiasi Fasies *Shallow Marine*

Asosiasi fasies *shallow marine* dijumpai di bagian atas yang menunjukkan akhir dari siklus deltaik yang dengan tajam dan jelas menunjukkan pendalaman atau dimulainya siklus transgresif (Moss and Chambers, 1999; Cibaj dkk., 2014). Asosiasi fasies ini menunjukkan bahwa telah terjadi transisi dari siklus regresif ke transgresif yang terjadi selama Miosen dengan segala fluktuasinya. Asosiasi fosil foraminifera kecil menunjukkan umur pengendapan Miosen Tengah hingga Miosen Akhir (Supriyatna dkk., 1995).

Material Organik Daerah Air Putih

Jumlah material organik yang terdapat pada batuan dinyatakan sebagai nilai karbon organik (TOC). Batuan yang memiliki nilai TOC antara 1% - 2% mengindikasikan lingkungan pengendapan transisi antara oksidasi dan reduksi sedangkan batuan yang memiliki nilai TOC di atas 2% berasosiasi dengan lingkungan pengendapan reduksi (Waples, 1985; Peters dan Cassa, 1994; Jamaluddin dkk, 2022). Nilai TOC pada percontoh batuan yang terdapat pada daerah penelitian berkisar 0.62% - 64.39% yang terdiri atas batulanau, serpih, dan batubara (tabel 1). Berdasarkan dari nilai TOC yang terkandung



Gambar 8. Profil singkapan dan interpretasi model lingkungan pengendapan pada Daerah Air Putih, Kota Samarinda.

relatif tinggi yang terdapat pada *coal bed* mengindikasikan batuan tersebut berasosiasi dengan lingkungan pengendapan reduksi. Kandungan nilai TOC meningkat dari fasies *prodelta* ke fasies *delta plain* (Mohialdeen dan Hakimi, 2016; Permana dkk., 2018).

Serpit dan batulanau memiliki nilai kandungan sulfur yang rendah berkisar 0,11% - 0.49% (TS < 0,5 %) yang mengindikasikan sampel non-laut (air tawar) sedangkan batubara memiliki kandungan sulfur 1.16% - 2.20% mengindikasikan sampel tersebut terendapkan pada kondisi laut hipersalin (Sykes, 2004; Widodo dkk., 2010).

Berdasarkan plot silang antara TOC dan sulfur, sampel Daerah Air Putih sebagian besar terendapkan di lingkungan laut, dengan sedikit hubungan dengan air tawar dalam kondisi reduksi (Gambar 9).

Berdasarkan hasil analisis petrografi maseral pada sampel batubara daerah Air Putih, Kota Samarinda memiliki nilai TPI (*Tissue Preservation Index*) berkisar antara 1,72 – 2,65 % yang didominasi kelompok maseral huminit. Komposisi maseral batubara pada sampel SMC daerah Air Putih terdiri atas huminit 73%, liptinit 26% dan inertinit 1% (Gambar 10 a-d). Maseral penyusun batubara seperti ini sangat umum

ditemukan pada sampel batubara yang terdapat di daerah lain di Indonesia (Santoso dan Daulay, 2005; Suwarna dan Kusumahbrata, 2010). Dominansi kelompok maseral huminit mengindikasikan bahwa material organik tersebut berasal dari tumbuhan tingkat tinggi (kayu/lignin) yang mengalami proses pengawetan yang cukup baik. Nilai GI (*Gelification Index*) pada sampel batubara pada daerah Air Putih sangat rendah berkisar antara 6,21 – 6,77 % yang menunjukkan bahwa mengalami proses oksidasi yang cukup.

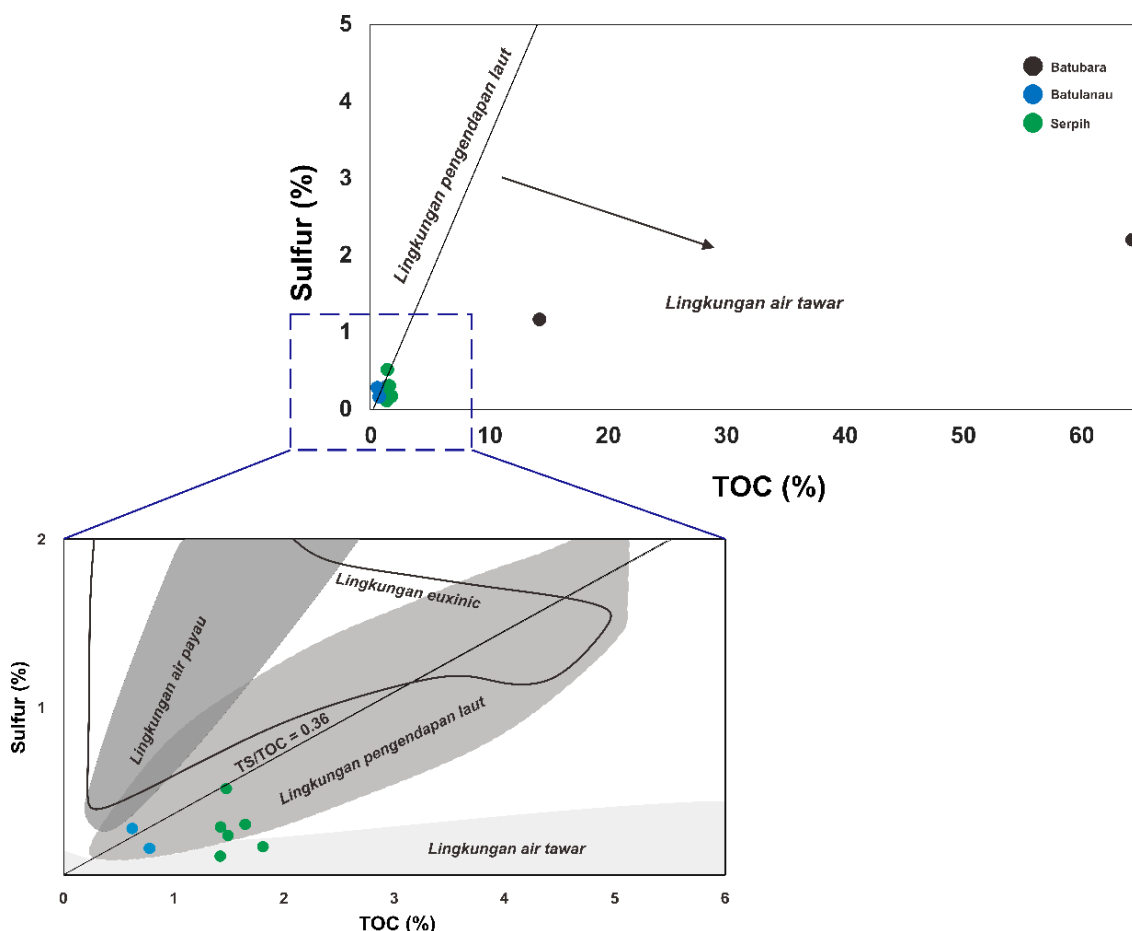
Mineral penyusun batubara yang ditemukan pada daerah SMC meliputi mineral lempung, kuarsa, dan pirit. Hal tersebut mengindikasikan bahwa sedimen pada daerah Air Putih mengindikasikan lingkungan pengendapan darat (air tawar) pada saat pembentukan batubara (Susilawati dan Ward, 2006; Diessel, 2010).

Data petrografi organik sampel batuan serpih menunjukkan kehadiran maseral vitrinit sekitar 22% (Gambar 10 e-h). Vitrinit yang terkandung

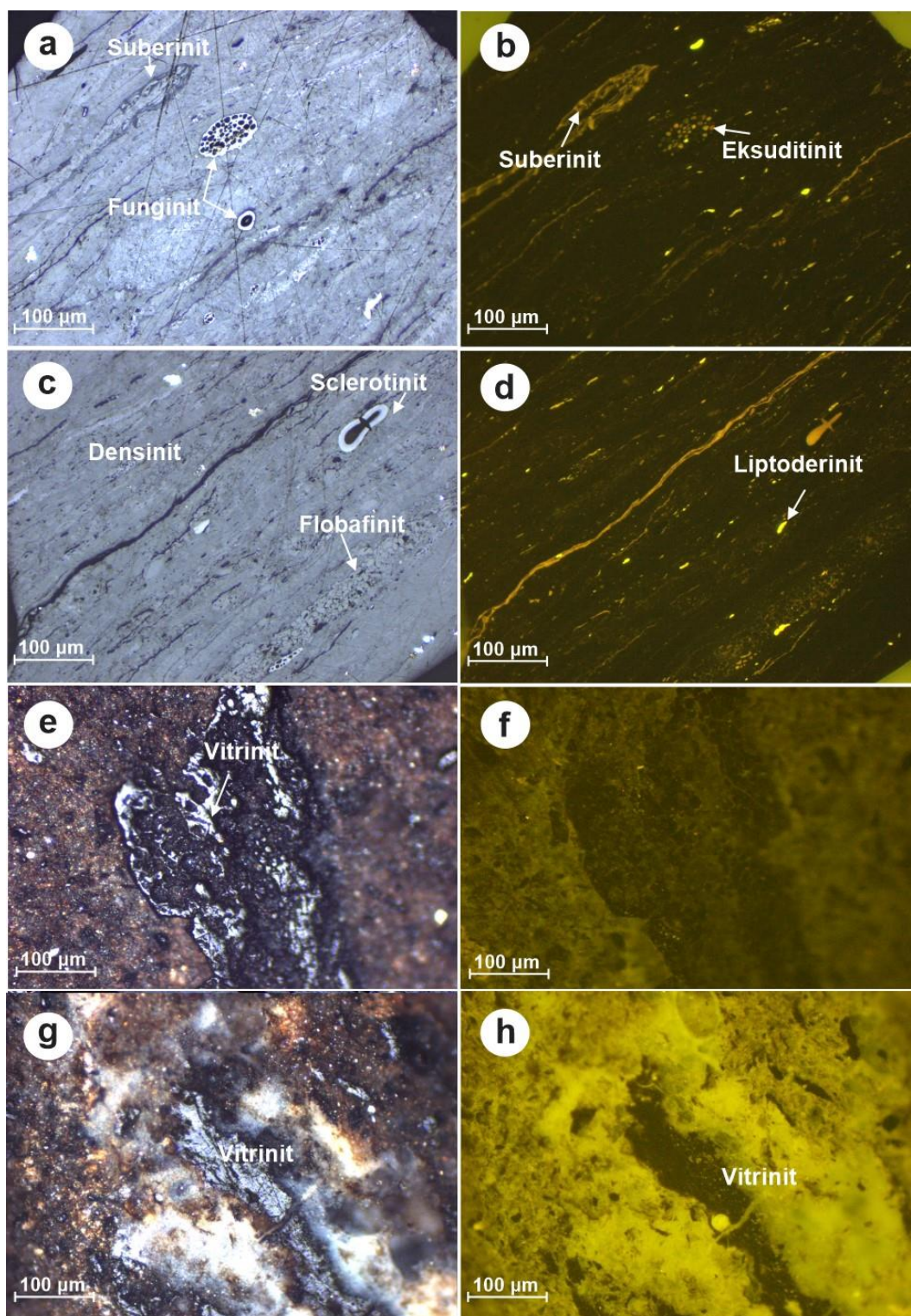
dalam batuan tersebut mengindikasikan berasal dari tumbuhan yang mengandung serat kayu (*woody tissues*). Kelompok maseral vitrinit yang banyak ditemukan pada sampel tersebut adalah *telocollinit* yang banyak terbentuk di bawah kondisi air tawar.

Kenampakan resinat pada percontohan umumnya terjadi sebagai bulatan kecil yang mengisi rongga-rongga sel, berwarna kuning-oranye di bawah sinar fluoresen. Maseral resinat pada sampel serpih daerah Air Putih mengindikasikan bahwa maseral tersebut berasal dari getah tanaman. Maseral Liptodetrinit pada sampel tersebut terjadi sebagai produk degradasi halus dari maseral lignit lainnya.

Berdasarkan hasil integrasi analisis data pemetaan geologi, karbon organik (TOC) dan komposisi maseral mengindikasikan bahwa Daerah Air Putih sebagian besar terendapkan di lingkungan laut dengan sedikit hubungan dengan air tawar.



Gambar 9. Plot silang antara nilai *Total Organic Carbon* (TOC) terhadap sulfur pada singkapan SMC untuk menentukan kondisi lingkungan pengendapan.



Gambar 10. Fotomikrograf maseral pembentuk batubara (a-d) dan serpih (e-h) pada singkapan daerah Air Putih, Kota Samarinda menggunakan *white light* (kiri) dan *fluorescence light* (kanan).

Nilai persentase relatif antar batubara yang terkandung dalam cekungan Kutai dipengaruhi oleh jumlah akomodasi sedimen cukup besar dan lokasi geografis dari delta Mahakam terletak sekitar garis khatulistiwa.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian diketahui bahwa: 1)Fasies sedimenter yang berkembang di daerah penelitian merupakan asosiasi fasies prodelta shales yang *prograding* menjadi fasies delta

front mouth bar selama siklus regresif di Miosen Tengah. Asosiasi fasies deltaik diwakili oleh endapan *distal bar*, *mixed flat*, dan *mud flat*. Litofasies yang dijumpai antara lain batulempung hitam, batubara, batupasir halus hingga sedang dengan fragmen batubara. Peralihan siklus regresif ke transgresif ditunjukkan oleh hadirnya batupasir halus karbonatan yang mengindikasikan gejala pendalaman (*deepening*) di lingkungan laut dangkal.

2) Percontoh sampel batubara terdiri atas kelompok maseral huminit 73% (tekstinit 35%, ulminit 18%, phyllo-vitrinit 5%, atrinit 2%, densinit 6%, flobafinit 4%, corpogelinit 3%), kelompok maseral liptinit 26 % (kutinit 10%, suberinit 1%, sporinit 4%, resininit 2%, eksudatinit 4%, fluorinit 5%) dan kelompok maseral inertinit yang terdiri atas funginit 1%. Percontoh sampel serpih terdiri atas kelompok vitrinit 55%, liptinit 43% dan inertinit 2%. Dominansi kelompok maseral huminit mengindikasikan bahwa material organik tersebut terbentuk dari tetumbuhan pada zona tropis yang lembab.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Montanuniversität Leoben, Austria yang bersedia menyediakan fasilitas untuk keperluan analisis petrologi organik.

DAFTAR PUSTAKA

Cibaj, I., Lambert, B., Ashari, U., Giriansyah, B., Schulbaum, L., Imbert, P., Cordelier, and Philippe, 2014. Sedimentology and Stratigraphic Stacking Patterns of the Peciko Field Main Zone, Lower Kutai Basin, East Kalimantan, Indonesia. *Proceedings Indonesian Petroleum Association 38th Annual Convention and Exhibition*, May 2014.

Darman, H., dan H. Sidi. 2000. *An Outline of the Geology of Indonesia*. Jakarta: Indonesian Geologist Association Publication.

Diessel, C.F.K., 2010. The stratigraphic distribution of inertinite. *International Journal of Coal Geology*, 81, 251-268. <https://doi.org/10.1016/j.coal.2009.04.004>

Doner, Z., Kumral, M., Demirel I.H., 2019. Geochemical characteristics of the Silurian shales from the central Taurides, southern Turkey: Organic matter accumulation,

preservation and depositional environment modelling. *Marine and Petroleum Geology* 102, 155. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2018.12.042>

- Hadipandoyo, S., Setyoko, J., Suliantara, Guntur, A., Riyanto, H., Saputro, H.H., Harahap, M.D., Firdaus, N., 2007. *Kualifikasi Sumberdaya Hidrokarbon Indonesia*. Jakarta: Pusat Penelitian dan Pengembangan Energi dan Sumberdaya Mineral LEMIGAS.
- ICCP (International Committee for Coal Petrology), 1993. *International Handbook of Coal Petrography, 3rd Supplement to 2nd Edition*. University of Newcastle on Tyne (England)
- ICCP (International Committee for Coal Petrology), 1998. The new vitrinite classification (ICCP System 1994). *Fuel* 77, 349–358.
- ICCP (International Committee for Coal Petrology), 2001. The new inertinite classification (ICCP System 1994). *Fuel* 80, 459–471.
- Jamaluddin, Michael, W., Xiang, X., Umar, E.P., 2022. Organic geochemical characterization of Miocene shale in Lower Kutai Basin, East Kalimantan, Indonesia. *PANGEO Austria*.
- Jamaluddin, Wagreech, 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), 1259. DOI: doi.org/10.3390/min13101259
- Moss S.J. dan Chambers, J.L.C., 1999. Tertiary facies architecture in the Kutai Basin, Kalimantan, Indonesia. *Journal of Asian Earth Sciences*, 17, hal.157-181. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0743-9547\(98\)00035-X](https://doi.org/10.1016/S0743-9547(98)00035-X)
- Mohialdeen, I.M.J. dan Hakimi, M.H., 2016. Geochemical characterisation of Tithonian-Berriasian Chia Gara organic-rich rocks in northern Iraq with an emphasis on organic matter enrichment and the relationship to the bioproductivity and anoxia conditions. *Journal of Asian Earth Sciences*, 116, hal.181–197. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2015.11.004>

- Permana, A.K., Sendjadja, Y.A., Panggabean, H., dan Fauxely, L., 2018. Depositional Environment and Source Rocks Potential of the Miocene Organic-Rich Sediments, Balikpapan Formation, East Kutai Sub-Basin, Kalimantan. *Journal of Geology and Mineral Resources*, 9(3), 171-186. DOI: <https://doi.org/10.33332/jgsm.geologi.v19i3.407>
- Peters, K.E. dan Cassa, M.R., 1994. Applied Source Rock Geochemistry. In: Magoon, L. B. and Dow, W. G. (Ed.) *The Petroleum Systems from Source to Trap. AAPG Memoir 60*, 93-120.
- Santoso, B. dan Dauly, B., 2005. Type and rank of selected Tertiary Kalimantan coals. *Indonesian Mining Journal*, 8(2), hal.1-12.
- Satyana, A. H., 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. [https://doi.org/10.1016/S0743-9547\(98\)00059-2](https://doi.org/10.1016/S0743-9547(98)00059-2)
- Scott, A.C., 2002. Coal petrology and the origin of coal macerals: a way ahead? *International Journal of Coal Geology*, 50:119-134. [https://doi.org/10.1016/S0166-5162\(02\)00116-7](https://doi.org/10.1016/S0166-5162(02)00116-7)
- Supriyatna S., Sukardi R., Rustandi E., 1995, Peta Geologi Lembar Samarinda, Kalimantan. Bandung: Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
- Susilawati, R. dan Ward, C.R., 2006. Metamorphism of mineral matter in coal from the Bukit Asam deposit, South Sumatra, Indonesia. *International Journal of Coal Geology*, 68:171-195. <https://doi.org/10.1016/j.coal.2006.02.003>
- Suwarna, N. Dan Kusumahbrata, Y., 2010. Macroscopic, microscopic and paleo-depositional features of selected coals in Arahau, Banjarsari, Suban Jeriji and South Banko regions, South Sumatera. *Jurnal Geologi Indonesia*, 5(4): 269-290: [10.17014/ijog.5.4.269-290](https://doi.org/10.17014/ijog.5.4.269-290)
- Sykes R., 2004. Peat biomass and early diagenetic controls on the paraffinic oil potential of humic coals, Canterbury Basin, New Zealand. *Petrol. Geosci.* 10(4): 283–303. DOI: <https://doi.org/10.1144/1354-079302-568>
- Walker, R.G. dan James, N.P., 1992. *Facies Models: Response to Sea Level Change*. Kanada: Geological Association of Canada. hal.195-218.
- Waples, D.W., 1985. *Geochemistry in Petroleum Exploration*. Brown and Ruth Laboratories, Inc. Denver, Colorado.
- Ward, C.R., 2016. Analysis, Origin, and Significance Mineral Matter in Coal: An Update Review. *International Journal of Coal Geology*, 165, 1–27. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.coal.2016.07.014>
- Widodo, S., Oschmann, W., Bechtel, A., Sachsenhofer, R.F., 2010. Distribution of sulphur and pyrite in coal seams from Kutai Basin (East Kalimantan, Indonesia): implications for paleoenvironmental conditions. *International Journal of Coal Geology*, 81, hal.151-162. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.coal.2009.12.003>