

Karakteristik seam batubara menggunakan data log dan data core di PT. Equalindo Makmur Alam Sejahtera Sanga-Sanga, Kabupaten Kutai Kerta Negara, Kalimantan Timur

Fuad Jafar^{1*}, Masri¹, Hasria¹

¹Program Studi Teknik Geologi, Universitas Halu Oleo, Kendari, Indonesia

*Email Fuadjafar.geologi@gmail.com

Tel: +62-82195740329

SARI

Batubara merupakan salah satu batuan sedimen organik. Batubara terbentuk dari pembusukan tumbuhan pada lingkungan dengan kadungan air melimpah, biasanya pada daerah rawa. Analisis data well logging dan deskripsi inti bor digunakan untuk menentukan lingkungan pengendapan batubara. Analisis *well-logging* untuk mengidentifikasi litologi, ketebalan, dan kedalaman lapisan batuan sedimen. Pada analisis *well-logging* hasilnya menunjukkan seam batubara terbentuk pada lingkungan *delta plain* yang dicirikan dengan berkembangnya fasies *crevasse splay*, *channel*, *interdistributary bay*, dan *swamp* pada satuan batulempung dan batupasir Formasi Balikpapan, berdasarkan asosiasi lingkungan pengendapan ini, dapat diinterpretasi bahwa lingkungan pengendapan satuan batulempung, satuan batupasir, dan batubara Formasi Balikpapan adalah *transitional lower delta plain*.

Kata kunci: Seam batubara; *gamma ray*; elektrofases; *delta plain*; Kutai

ABSTRACT

Coal is one of the organic sedimentary rocks. Coal is formed from the decay of plants in an environment with much water content, usually in swampy areas. Gamma-ray, neutron logs, and drill core descriptions were used to determine the coal depositional environment. Well-logging analysis to identify lithology, thickness and depth of sedimentary rock layers. The well-logging analysis shows that the coal seam was formed in the delta plain environment, characterized by the development of crevasse splay, channel, interdistributary bay, and swamp facies in the claystone and sandstone units of the Balikpapan Formation. Depositional claystone, sandstone, and coal units of the Balikpapan Formation are transitional lower delta plain.

Keywords: coal seam; *gamma ray*; well-logging; *delta plain*; Kutai

1 Pendahuluan

Batubara tidak akan berhenti diperbincangkan selama masih menjadi salah satu sumber energi primer di Indonesia, karena harganya yang relatif murah dibandingkan dengan minyak dan gas bumi. Batubara merupakan salah satu sumber energi yang penting bagi dunia, digunakan pada pembangkit listrik untuk menghasilkan listrik hampir 40% di seluruh dunia. Batubara merupakan sumber energi yang pertumbuhannya paling cepat di dunia di tahun-tahun belakangan ini bahkan lebih cepat daripada gas, minyak, nuklir, air dan sumberdaya pengganti (World Coal Institute, 2020).

PT. Equalindo Makmur Alam Sejahtera merupakan salah satu perusahaan yang terintegritas secara strategis di dalam Equalindo Group. PT. Equalindo Makmur Alam Sejahtera memiliki anak-anak perusahaan yang tertata dalam value chain pada perkebunan kelapa sawit, pertambangan batubara yang berada di Propinsi Kalimantan Timur dan pembengunan pembangkit tenaga listrik dengan menggunakan energi terbarukan. Pertambangan batubara yang dikelola oleh PT. Equalindo Makmur Alam Sejahtera salah satunya adalah PT. Alhasani yang terletak di Kelurahan Sanga-Sanga Muara, Kabupaten Kutai Kerta Negara, Propinsi Kalimantan Timur. PT. Alhasani memiliki areal kerja seluas 932,8 Ha, namun yang disetujui seluas 884 Ha, dan memiliki kapasitas produksi sebanyak 600.000 MT/ tahun dengan kualitas batubaranya yaitu bituminus.

Kualitas batubara dijumpai sangat bervariasi, baik secara vertikal maupun lateral, di antaranya bervariasi kandungan *sulfur*, kondisi *roof* dan *floor*, kehadiran pengotor dan *parting*. Kondisi tersebut antara lain dipengaruhi oleh pembentukan batubara yang kompleks meliputi proses geologi yang berlangsung bersamaan dengan pembentukan batubara (*syn-depositional*), proses geologi yang berlangsung setelah lapisan batubara terbentuk (*post-depositional*), lingkungan pengendapan yang khas sebagai tempat terbentuknya batubara (Thomas, 2020).

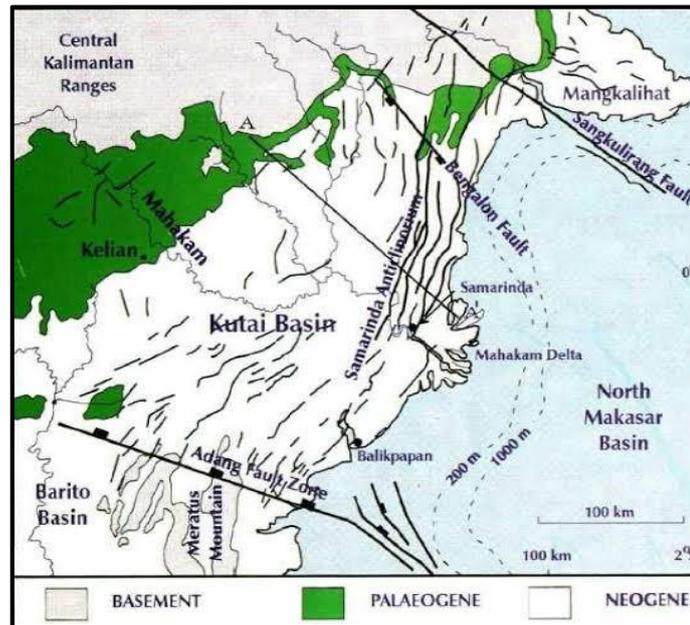
Salah satu metode yang digunakan dalam eksplorasi batubara adalah *well logging* yang tujuannya adalah untuk mengetahui kondisi geologi yang berada di bawah permukaan secara cepat dan detail. Metode *well logging* adalah alat perekaman untuk mengetahui karakteristik bawah permukaan dengan menggunakan kombinasi *log gamma ray*, *log densitas* dan *log caliper*. Metode ini memiliki akurasi data yang tinggi dibandingkan dengan metode lainnya sehingga banyak digunakan oleh perusahaan pertambangan (Nazeer dkk., 2016).

Daerah penelitian berada pada Formasi Balikpapan dimana formasi tersebut adalah salah satu formasi yang termasuk dalam Cekungan Kutai (Supriatna dkk., 1995). Formasi Balikpapan merupakan salah satu formasi pembawa batubara di Cekungan Kutai dengan kualitas batubaranya sub-bituminus hingga bituminus yang tergolong dalam batubara muda. Batubara di lokasi penelitian memiliki 3 *seam* utama, yaitu *seam* X, Y dan Z. Penulis tertarik untuk melakukan penelitian lebih lanjut tentang analisis karakteristik batubara berdasarkan data *log* dan data *core*.

2 Geologi

Cekungan Kutai merupakan Cekungan terluas (60.000 Km²) dan terdalam (14 Km) di Indonesia yang terletak di pantai Timur Kalimantan dan daerah paparan sebelahnya. Cekungan ini terbentuk dan berkembang akibat proses-proses pemisahan dari akibat regangan didalam lempeng Mikro Sunda yang menyertai interaksi antar lempeng Sunda dengan lempeng Pasifik disebelah Timur, lempeng Indo-Australia diselatan, dan lempeng Laut Cina Selatan dibagian Utara. Secara tektonik pada bagian Utara Cekungan Kutai terdapa Cekungan Tarakan yang dipisahkan oleh Punggungan Mangkalihat yang merupakan suatu daerah tinggian batuan dasar yang terbentuk pada Oligosen. Disebelah Selatan dijumpai Cekungan Barito yang dibatasi oleh Sesar Adang. yang terbentuk pada zaman Miosen Tengah. Pada bagian tenggara terdapat Paparan Paternoster dan gugusan Pegunungan Meratus, sedangkan batas Barat dari cekungan

adalah daerah Tinggian Kuching (Pegunungan Kalimantan Tengah) yang berumur Pra-Tersier dan merupakan bagian dari inti benua Pulau Kalimantan dimana tinggian ini menghasilkan sedimen-sedimen tebal Neogen. Pada bagian Timur terdapat Delta Mahakam yang terbuka ke Selat Makassar. Sedimentasi Tersier pada Cekungan Kutai berlanjut sejak pertengahan Eosen sampai Eosen Atas (**Gambar 1**).

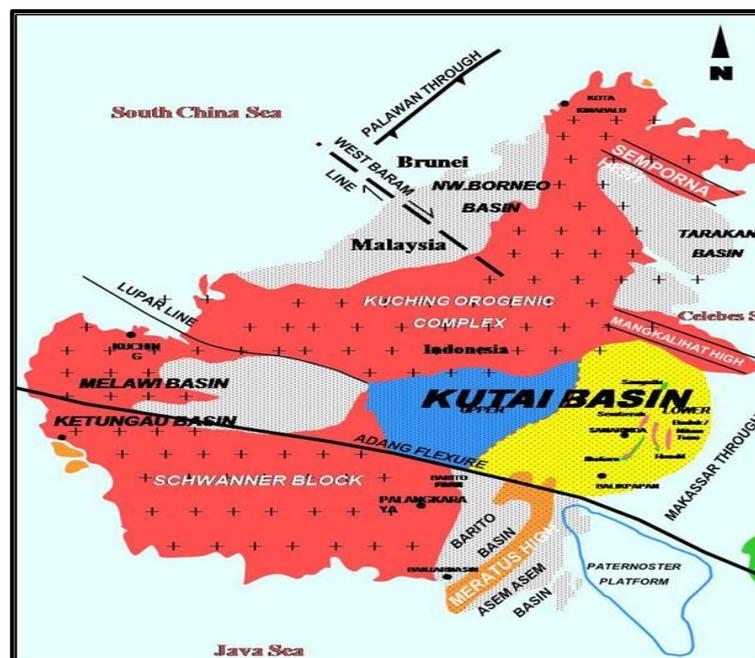


Gambar 1 Fisiografi Cekungan Kutai (Allen & Chambers, 1998 dalam Renaldo, 2009)

Cekungan Kutai dihasilkan oleh proses pemekaran yang terjadi pada Eosen Tengah yang melibatkan pemekaran selat Makassar bagian Utara dan Laut Sulawesi Chambers dan Moss (2000 dalam Resmawan, 2007). Selama Kapur Tengah sampai Eosen Awal, pulau Kalimantan merupakan tempat terjadinya tumbukan dengan mikro-kontinen, busur kepulauan, pengebakan lempeng *oceanic* dan intrusi granit, membentuk batuan dasar yang menjadi dasar dari Cekungan Kutai (Moss dan Chambers, 1999). Pola struktur yang berkembang di Cekungan Kutai didominasi oleh serangkaian lipatan dan patahan berarah NNE-SSW yang paralel dengan garis pantai Timur. Pola struktur ini mendominasi bagian Timur Cekungan Kutai hingga lepas pantainya. Sedangkan struktur di bagian Barat cekungan Kutai belum begitu diketahui secara pasti. Bagian Barat cekungan mengalami pengangkatan hingga terjadi inversi yang menghilangkan endapan sedimen setebal 1.500 – 3.500 meter.

Cekungan Kutai terletak di atas batuan dasar sedimen turbidit yang terendapkan pada cekungan oseanik sejak jaman Kapur akhir–Paleosen Akhir. Cekungan oseanik ini terbentuk akibat gerak pemisahan antara lempeng benua Asia dan lempeng benua Australia pada jaman Jurassic Awal sampai Kapur Akhir (Moss dkk., 1997). Cekungan Kutai berdasarkan sejarah pembentukannya dapat dibagi menjadi dua bagian (**Gambar 2**), yaitu: Cekungan Kutai Tengah merupakan daerah yang dicirikan oleh adanya sedimen Neogen, didominasi oleh volkanoklastik, konglomerat, batupasir kuarsa dengan geometri, dan struktur sedimen lingkungan pengendapan

aluvial-fluvial yang berada pada bagian barat cekungan (Cloke dkk., 1999). berada pada bagian timur cekungan atau tepatnya pada daerah Delta Mahakam yang saat ini terbentuk dan didominasi oleh endapan delta progradasi, sedimen halus paparan luar dan sedimen *distal flood*. Stratigrafi daerah Cekungan Kutai merupakan endapan-endapan sedimen Tersier sebagai hasil dari siklus transgresi dan regresi air laut dan memiliki kesebandingan dengan Cekungan Barito serta Cekungan Tarakan (Gambar 2). Urutan transgresif dapat ditemukan dengan baik di sepanjang daerah pinggiran cekungan tanpa endapan klastik yang berbutir kasar dan serpih yang diendapkan pada lingkungan paralis hingga laut dangkal.



Gambar 2. Fisiografi Cekungan Kutai (modifikasi dari Nuay, 1985 dalam Renaldo, 2009)

3 Metode Penelitian

Metode penelitian dibagi menjadi empat tahap yakni (1) studi literatur, (2) pengambilan data lapangan, (3) uji laboratorium, dan (4) analisis data. Studi literatur meliputi pengumpulan data sekunder dan literatur-literatur yang berhubungan dengan topik penelitian dan kondisi geologi daerah penelitian. Penganbilan data lapangan meliputi pengumpulan data secara primer melalui pengeboran batubara dan *well logging*. Data ini berupa rekaman grafik log (*gamma ray*, *densitas*, dan kedalaman) di masing-masing sumur bor. Banyaknya data yang digunakan adalah sebanyak 8 (delapan) titik bor. Dan juga didukung foto *core* pada tiap kedalaman. Dari data log yang berupa grafik *gamma ray* dan grafik *densitas* kemudian diinterpretasi untuk menentukan lapisan dan jenis batubara dari lapisan penyusun batuan lainnya serta untuk mengetahui lingkungan pengendapan batubara dari pembacaan grafik log dan analisis core yang dihubungkan dengan lingkungan pengendapan (Siddiqui dkk., 2013).

4 Hasil dan Analisis

4.1 Interpretasi log tali kawat dan inti bor

Pada daerah penelitian dilakukan pengeboran sebanyak 8 titik bor pada dua pit yaitu ALC-14 dan ALC-10 dengan kedalaman 40-80m dan 28-76m (**Tabel 1**)

Tabel 1. Data pengeboran batubara daerah penelitian

No	Borhole	Elevasi (m)	Kedalaman (m)	Ketebalan (m)	Seam
1	ALC10-10B	10,00	82,50	6,64	Seam U
				5,00	Seam T
				0,99	Seam 1
2	ALC10-17A	-2,00	75,00	2,86	Seam Z
				1,10	Seam Y1
3	ALC10-18A	4,00	40,50	3,44	Seam 2
4	ALC10-29	12,00	45,00	2,82	Seam W2
				2,20	Seam W3
	ALC14-122	0,00	61,50	5,10	Seam w
5	ALC14-124	0,00	30,00	1,22	Seam X
				3,48	
6	ALC14-125	27,00	84,00	2,32	Seam Y1
7	ALC14-131A	3,00	28,50	4,26	Seam X
				5,08	

4.2 Analisis Grafik Defleksi Log Pada Batuan Sedimen

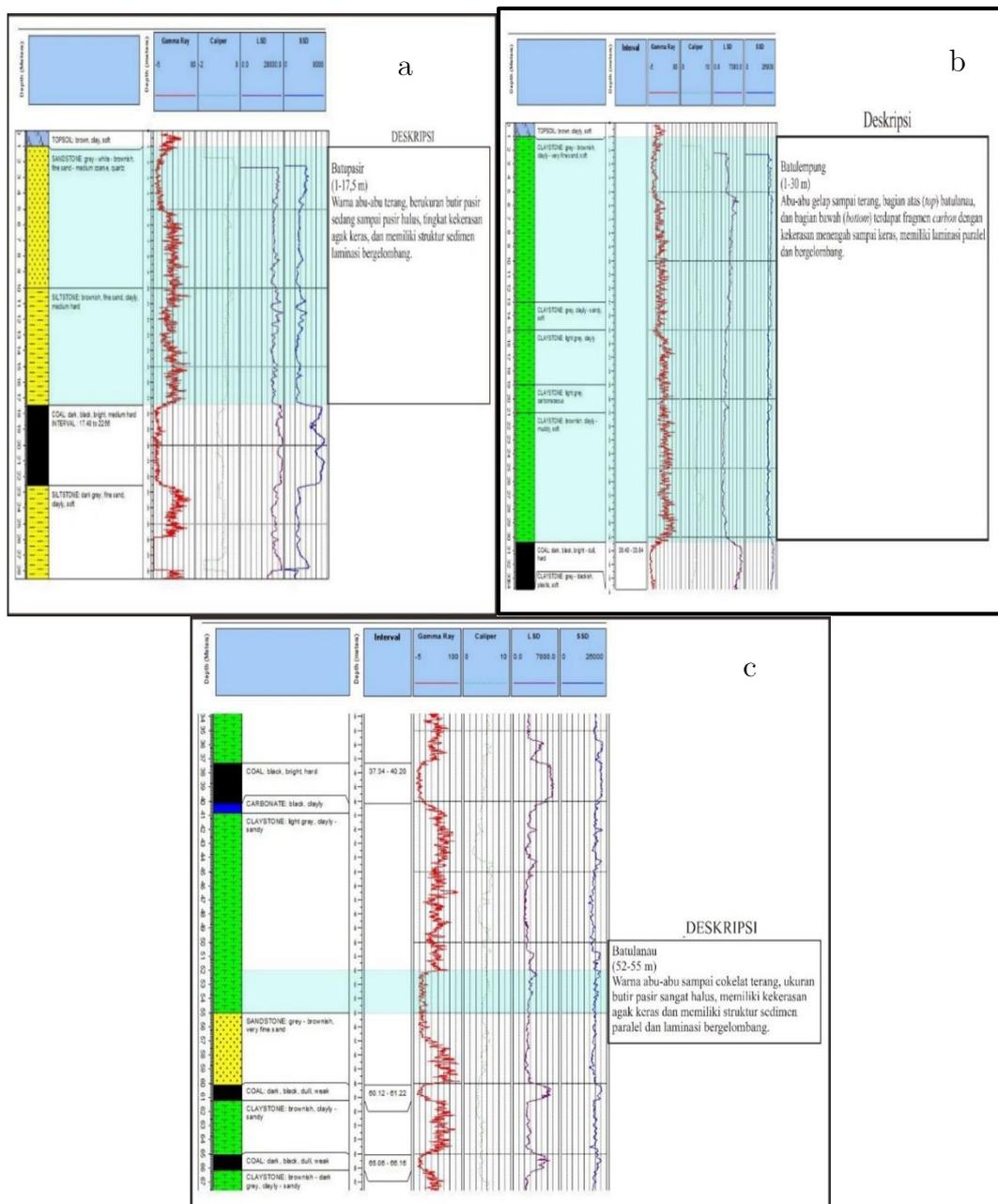
Daerah penelitian terletak pada Formasi Balikpapan. Batubara yang berada pada formasi Balikpapan tertutupi oleh batuan sedimen, dimana pada daerah ini batuan sedimen yang dijumpai yaitu batulempung, batupasir kuarsa, dan sisipan batulanau (**Gambar 3**).

4.3 Interpretasi Lingkungan Pengendapan Batubara Berdasarkan Data Log

Kriteria utama pengenalan lingkungan pengendapan delta telah dikemukakan oleh (Horne, 1978). Identifikasi lingkungan pengendapan purba dari sayatan stratigrafi berdasarkan variasi urutan batuan kemudian dibandingkan dengan sistem pengendapan untuk model endapan fluvial, delta, dan barrier modern (saat sekarang). Berikut ini akan diperlihatkan beberapa lubang bor yang menunjukkan perbedaan pola log sebagai manifestasi penggunaan metode *log inside casing*. Pola log tersebut akan disebandingkan dengan model Horne (1978) dan dikalibrasikan dengan sampel bor inti agar dapat memberikan keakuratan yang lebih baik pada identifikasi litologi

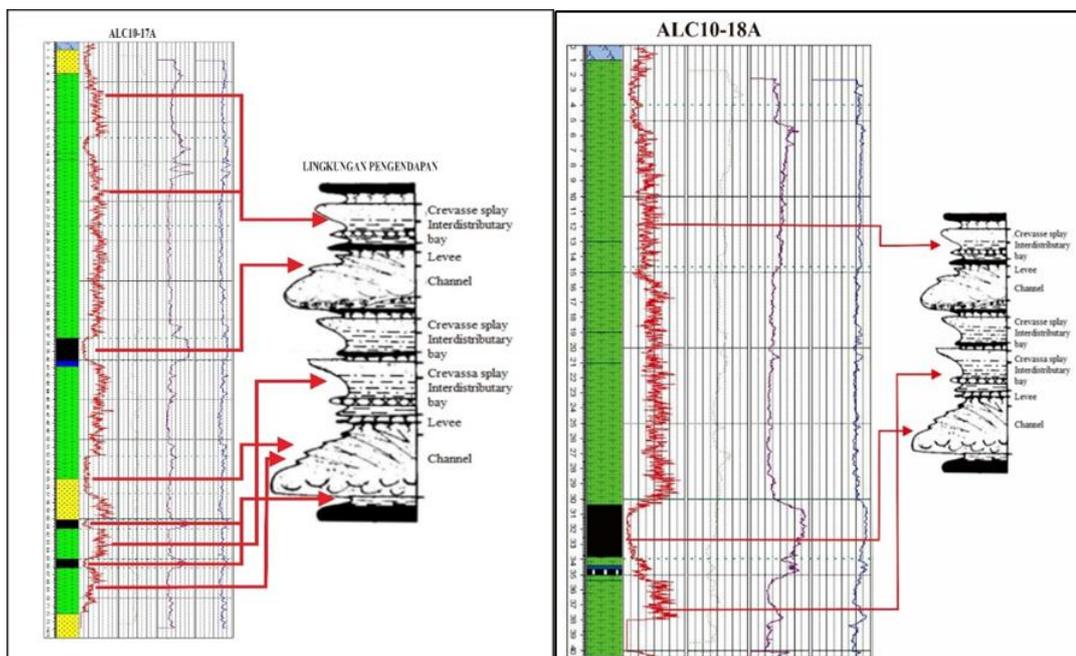
Elektrofases pada lubang bor ALC10-17A (**Gambar 4**) menunjukkan pola grafik log yang mengkasar ke atas yang menunjukkan adanya endapan *interdistributary bay*, *swamp*, *creavasse splay*, dan *channel*. Masing-masing fasies lingkungan pengendapan dapat diketahui dari litologi dan struktur sedimen. Endapan *interdistributary bay* dicirikan dengan batulempung dan batulanau yang mengkasar ke atas (*coarsening upward*) dengan kisaran nilai 10 sampai 50 cps berada pada *delta front*, endapan *swamp* dicirikan oleh batubara berada pada *delta plain*

dengan kisaran nilai 5 sampai 10 cps, endapan *creavasse splay* dicirikan oleh batupasir dan menghalus ke atas (*finning upward*) dengan kisaran nilai 5 sampai 25 cps, batulanau dan batulempung berada pada delta plain dan endapan *channel* dicirikan oleh batupasir yang menghalus keatas dengan kisaran nilai 10 sampai 50 cps memiliki struktur sedimen *cross beding* (silang siur). Perlapisan dan perselingan batupasir dan batulempung yang tidak teratur, ini menunjukkan bahwa energi sedimentasi pengendapan batuan sedimen tersebut identik dengan sedang, batubara pada titik bor ini mengalami pemisahan (*spliting*) yang merupakan akibat dari pengendapan channel.



Gambar 3 Defleksi log pada (a) batupasir, (b) batulempung, dan (c) batulanau

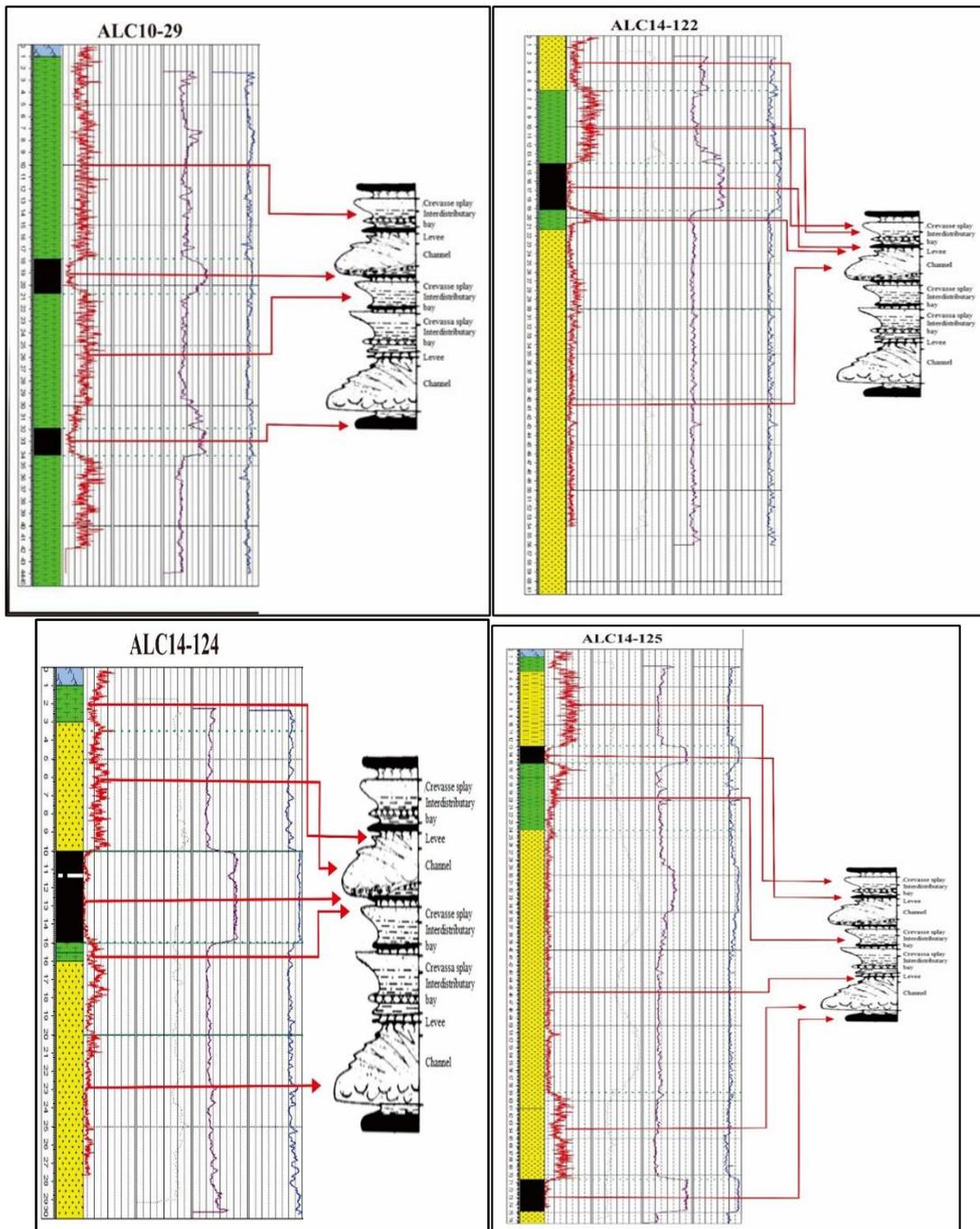
Elektrofasies pada lubang bor ALC10-18A menunjukkan pola grafik log yang mengkasar ke atas (*coarsening upward*) yang menunjukkan adanya endapan *interdistributary bay* dan *swamp*. Masing-masing lingkungan pengendapan dapat diketahui dari litologi dan struktur sedimen. Endapan *interdistributary bay* dicirikan dengan batu lempung dan batulanau yang yang berbentuk *irregular* berada pada *delta front* dengan kisaran nilai 15 sampai 50 cps, endapan *swamp* dicirikan oleh batubara berada pada *delta plain* dengan kisaran nilai 5 sampai 10 cps. Ini menunjukkan bahwa energi sedimentasi pengendapan batuan sedimen (**Gambar 4**) identik dengan arus sedang.



Gambar 4 Elektrofasies pada lubang bor (a) ALC10-17A dan (b) ALC10-18A

Elektrofasies pada lubang bor ALC10-29 (**Gambar 5**) menunjukkan adanya endapan *interdistributary bay* dan *swamp*. Masing-masing lingkungan pengendapan dapat diketahui dari litologi dan struktur sedimen. Endapan *interdistributary bay* dicirikan dengan batu lempung dan batulanau yang pola grafik log berbentuk *irregular* menunjukkan struktur sedimen *laminated wave ripples* (laminasi bergelombang) berada pada *delta front* dengan kisaran nilai 20 sampai 50 cps, endapan *swamp* dicirikan oleh batubara berada pada *delta plain* dengan kisaran nilai 5 sampai 10 cps. Ini menunjukkan bahwa energi sedimentasi pada litologa yang berada pada titik bor ini identik dengan arus sedang.

Elektrofasies pada lubang bor ALC14-122 menunjukkan pola grafik log yang mengkasar keatas (*coarsening upward*) yang menunjukkan adanya endapan *interdistributary bay*, *swamp*, *crevasse splay*, dan *channel* (**Gambar 5**). Masing-masing fasies lingkungan pengendapan dapat diketahui dari litologi dan struktur sedimen.

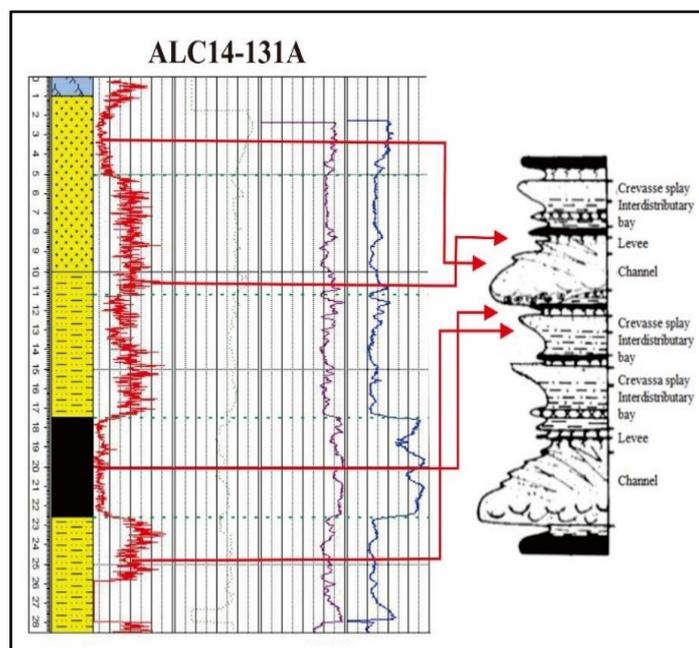


Gambar 5. Elektrofasi pada lubang bor (a) ALC10-29, (b) ALC14-122, (c) ALC14-124, (d) ALC14-125

Endapan *interdistributary bay* dicirikan dengan batulempung dengan pola kurva log berbentuk *irregular* berada pada *delta front* dengan kisaran nilai 20 sampai 50 cps, endapan *swamp* dicirikan oleh batubara berada pada *delta plain* dengan kisaran nilai 5 sampai 10 cps, endapan *crevasse splay* dicirikan oleh batupasir dan menghalus ke atas (*finning upward*) dengan kisaran nilai 5 sampai 30 cps, batulanau dan batulempung berada pada delta plain dan endapan

channel dicirikan oleh batupasir yang menunjukkan struktur sedimen silang siur (*cross bedding*) dapat dilihat dari pola grafik log yang *irregular* dengan kisaran nilai 5 sampai 10 cps, serta endapan *levee* yang dicirikan oleh sortasi yang buruk dapat dilihat dari pola grafik log yang *irreglar* dengan kisaran nilai 5 sampai 10 cps. Perlapisan dan perselingan batupasir dan batulempung yang tidak teratur ini menunjukkan energi sedimentasi pengendapan batuan sedimen pada titik bor ini identik dengan arus sedang.

Elektrofases pada lubang bor ALC14124 menunjukkan pola grafik log yang mengkasar ke atas (*coarsening upward*) yang menunjukkan adanya endapan *interdistributari bay*, *channel*, *swamp*, dan *creavasse splay*. Masing-masing lingkungan pengendapan dapat diketahui dari litologi dan struktur sedimen. Endapan *interdistributary bay* dicirikan dengan batu lempung yang mengkasar keatas (*corsening upward*) berada pada *delta front* yang pola grafik lognya berbentuk *funnel* dengan kisaran nilai 10 sampai 30 cps, endapan *channel* dicirikan oleh batupasir yang menunjukkan struktur sedimen silang siur (*cross bedding*) dapat dilihat dari pola grafik log yang *irregular* dengan kisaran nilai 5 sampai 40 cps, endappan *swamp* merupakan jenis endapan yang lingkungan pengendapannya terendam air dimana lingkungan seperti ini sangat cocok untuk akumulasi gambut dicirikan oleh batubara berada pada delta plain dengan kurfa lognya berbentuk *blocky boxcar* dengan kisaran nilai 5 sampai 10 cps, endapan *creavasse splay* dicirikan oleh batupasir yang struktur sedimennya silang siur (*cross bedding*) menghalus ke atas (*finning upward*) dengan kisaran nilai 5 sampai 35 cps (**Gambar 5**). Dari penjelasan diatas dapat disimpulkan bahwa energi sedimentasi pengendapan batuan sedimen tersebut identik dengan arus sedang dan kuat.



Gambar 6. Elektrofases lubang bor ALC14-131A

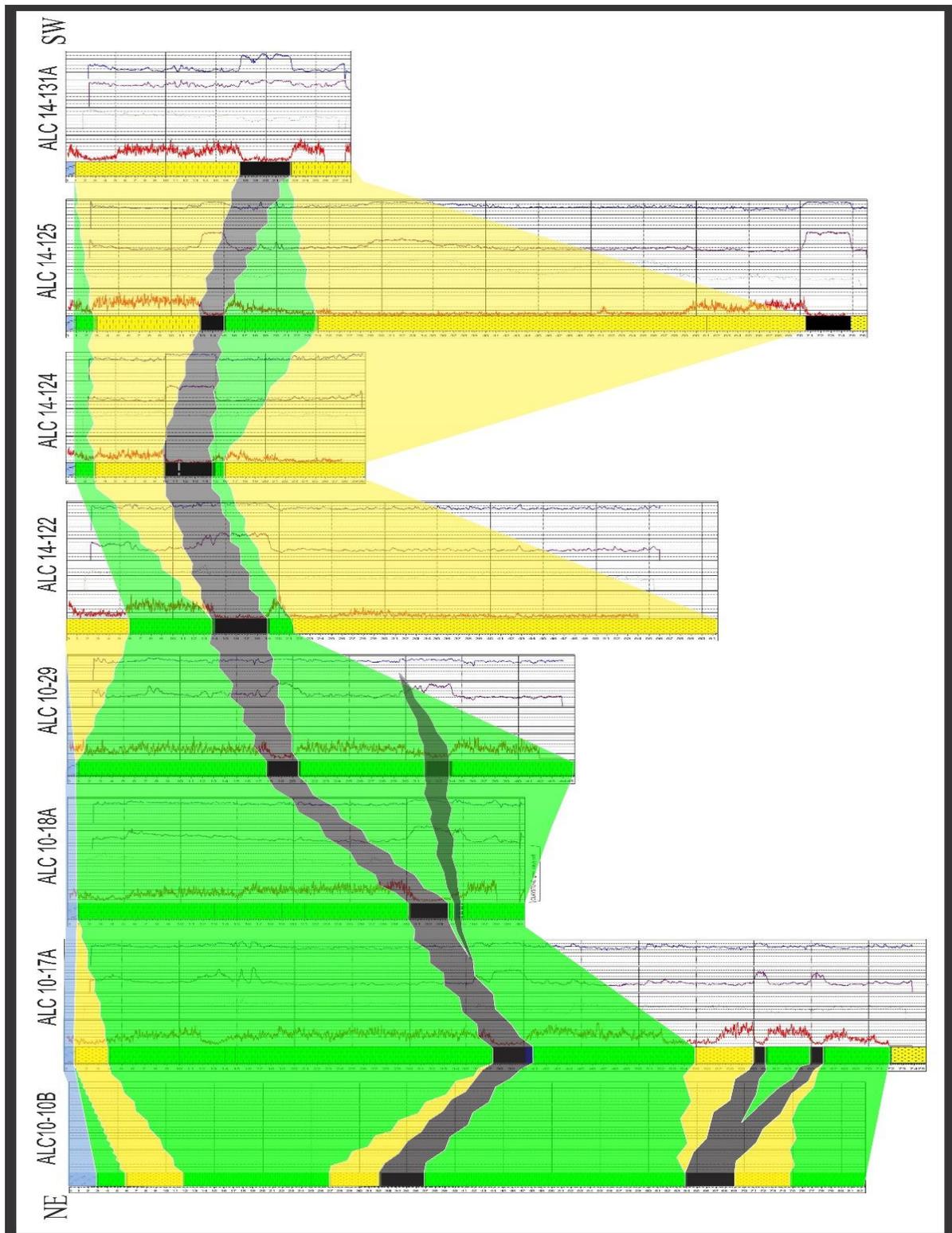
Elektrofases pada lubang bor ALC14-125 menunjukkan pola grafik log yang mengkasar keatas (*coarsening upward*) yang menunjukkan adanya endapan *creavasse splay*, *swamp*,

interdistributari bay, dan *channel*. Masing-masing lingkungan pengendapan dapat diketahui dari litologi dan struktur sedimen. Endapan *crevasse splay* dicirikan oleh batupasir dengan kurva log *irregular*, struktur sedimennya laminasi bergelombang (*laminated wave ripples*) dengan kisaran nilai 20 sampai 50 cps, endapan *swamp* merupakan jenis endapan yang lingkungan pengendapannya terendam air dimana lingkungan seperti ini sangat cocok untuk akumulasi gambut dicirikan oleh batubara berada pada *delta plain* dengan kisaran nilai 5 sampai 10 cps, Endapan *interdistributary bay* dicirikan dengan batulempung yang menghalus ke atas (*finning upward*) berada pada *delta front* dengan kisaran nilai 5 sampai 40 cps, endapan *channel* dicirikan oleh batupasir yang menunjukkan struktur sedimen silang siur (*cross bedding*) dapat dilihat dari pola grafik log yang *irregular* dengan kisaran nilai 20 sampai 50. Ini menunjukkan bahwa energi sedimentasi pengendapan batuan sedimen tersebut identik dengan sedang sampai kuat.

Elektrofasies pada lubang bor ALC14-131A (**Gambar 6**) menunjukkan pola grafik log yang mengkasar keatas (*coarsening upward*) yang menunjukkan adanya endapan *crevasse splay*, *swamp*, *interdistributari bay*, dan *channel*. Masing-masing lingkungan pengendapan dapat diketahui dari litologi dan struktur sedimen. Masing-masing lingkungan pengendapan dapat diketahui dari litologi dan struktur sedimen. Endapan *crevasse splay* dicirikan oleh batupasir yang struktur sedimennya laminasi bergelombang (*laminated wave ripples*) yang berbentuk *bell* (menghalus ke atas) dengan kisaran nilai 15 sampai 35 cps. Endapan *swamp* merupakan jenis endapan yang lingkungan pengendapannya terendam air dimana lingkungan seperti ini sangat cocok untuk akumulasi gambut dicirikan oleh batubara berada pada *delta plain* dengan kisaran nilai 5 sampai 10 cps, Endapan *interdistributary bay* dicirikan dengan batu lanau yang menghalus ke atas (*finning upward*) berada pada *delta front* dengan kisaran nilai 10 sampai 30 cps, endapan *channel* dicirikan oleh batupasir yang menunjukkan struktur sedimen laminasi bergelombang (*laminated wave ripples*) dapat dilihat dari pola grafik log yang *irregular* dengan kisaran nilai 10 sampai 40. Dari penjelasan tersebut menunjukkan bahwa energi sedimentasi pengendapan batuan sedimen tersebut identik dengan arus kuat sampai sedang.

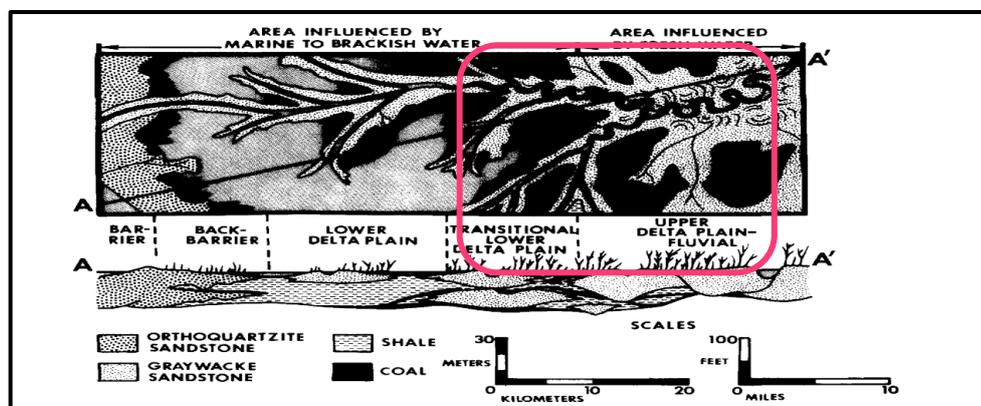
4.4 Korelasi Penampang 2D

Lapisan sedimen dindapkan secara menerus dan berkesinambungan sampai batas cekungan sedimentasinya. Penerusan bidang perlapisan adalah penerusan bidang kesamaan waktu (waktu pengendapan) atau merupakan dasar dari prinsip korelasi. Profil penampang korelasi ini bertujuan untuk mengetahui kondisi bawah permukaan dan melihat kemenerusan lapisan batubara serta batuan yang berada pada *roof* dan *floor* batubara tersebut. Penulis melakukan korelasi pada titik bor ALC10-10B, ALC10-17A, ALC1018A, ALC10-29, ALC14-122, ALC14-124, ALC14-125, ALC14-131A (**Gambar 7**). Hasil korelasi 8 lubang bor menunjukkan bahwa batubara pada *seam* yang sama, memiliki ketebalan yang tidak sama, ini menunjukkan bahwa masing-masing titik bor memiliki lama waktu proses sedimentasi yang berbeda pula, perbedaan litologi antara *roof* dan *floor* batubara juga terlihat jelas pada hasil korelasi dari delapan titik bor.



Gambar 7. Korelasi Penampang litologi 2D

Sedangkan litologi yang banyak dijumpai pada korelasi tersebut adalah lapisan batulempung (*claystone*) yang lingkungan pengendapannya lebih dominan ke laut (*delta front*) dan batupasir (*sandstone*) yang lingkungan pengendapannya lebih dominan darat (*delta plain*). Dari hasil korelasi kedelapan titik bor diketahui bahwa pada titik bor ALC10-10B sampai ALC14-131A mengalami perubahan litologi dari *delta front* ke *delta plain* yang semula didominasi oleh batulempung yang semula dikontrol oleh antara arus sungai dan laut yang arus gelombang tidak terlalu besar kemudian perlahan-lahan berubah menjadi interaksinya dengan sungai yang dicirikan dengan litologi batupasir. Sehingga dapat disimpulkan bahwa batubara pada daerah penelitian terbentuk di sepanjang lingkungan *delta plain* dan *delta front* (Gambar 8).



Gambar 8. Lingkungan pengendapan batubara daerah penelitian (Thomas, 2020)

Referensi

- Cloke, I., Moss, S., Craig, J., 1999. Structural controls on the evolution of the Kutai Basin, East Kalimantan. *J. Asian Earth Sci.* 17, 137–156. [https://doi.org/10.1016/S0743-9547\(98\)00036-1](https://doi.org/10.1016/S0743-9547(98)00036-1)
- Horne, J., 1978. Depositional models in coal exploration and mine planning in Appalachian Region. *Am. Assoc. Pet. Geol. Bull.* 62, 2379–2411.
- Moss, S.J., Chambers, J., Cloke, I., Satria, D., Ali, J.R., Baker, S., Milsom, J., Carter, A., 1997. New observations on the sedimentary and tectonic evolution of the Tertiary Kutai Basin, East Kalimantan. *Geol. Soc. London, Spec. Publ.* 126, 395–416. <https://doi.org/10.1144/GSL.SP.1997.126.01.24>
- Moss, S.J., Chambers, J.L., 1999. Tertiary facies architecture in the Kutai Basin, Kalimantan, Indonesia. *J. Asian Earth Sci.* 17, 157–181. [https://doi.org/10.1016/S0743-9547\(98\)00035-X](https://doi.org/10.1016/S0743-9547(98)00035-X)
- Nazeer, A., Abbasi, S.A., Solangi, S.H., 2016. Sedimentary facies interpretation of Gamma Ray (GR) log as basic well logs in Central and Lower Indus Basin of Pakistan. *Geod. Geodyn.* 7, 432–443. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.geog.2016.06.006>
- Renaldo, Z., 2014. Geologi dan karakteristik reservoir serta perhitungan cadangan lapisan “Z-12” Formasi Balikpapan Lapangan “Kobes” Cekungan Kutai Kalimantan Timur berdasarkan data log sumur. Tesis,UPN “Veteran” Yogyakarta.
- Resmawan, R.A., 2007. Analisis variasi kandungan sulfur pada Batubara Seam S di Daerah Palaran Kutai Kartanegara Kalimantan Timur. Tesis, Institut Teknologi Bandung.
- Siddiqui, N.A., EL-Ghali, M.A., Rahman, A.H. bin A., Mijinyawa, A., Ben-Awuah, J., 2013.

- Depositional Environment of Shallow-Marine Sandstones from Outcrop Gamma-Ray Logs, Belait Formation, Meragang Beach, Brunei Darussalam. *Res. J. Environ. Earth Sci.* 5, 305–324. <https://doi.org/10.19026/rjees.5.5705>
- Supriatna, S., Sukardi, Rustandi, E., 1995. Peta Geologi Lembar Samarinda, Kalimantan. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.
- Thomas, L., 2020. *Coal Geology*, 3 ed. John Wiley & Sons, Ltd, Chichester, UK. <https://doi.org/10.1002/9781118385685>
- World Coal Institute, 2020. UNECE Annual Report 2019. URL https://unece.org/DAM/UNECE_Annual_Report_2019_Web_FINAL.pdf