



Analisis Elektrofases Berdasarkan Data *Well Logging* pada Seam Batubara A1-D di Pit N, Tanjung Enim, Sumatera Selatan

Harnani^{1*}, Muhammad Rafi Al Hawari¹

¹ Program Studi Teknik Geologi, Jurusan Pertambangan dan Geologi, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya, Palembang, Indonesia

DOI: <https://doi.org/10.29303/goescienceed.v7i1.1741>

Article Info:

Received : 14 Januari 2026
Revised : 21 Januari 2026
Accepted : 17 Februari 2026
Published : 25 Februari 2026

Correspondence:

Harnani

Phone:

Abstract: The equitable distribution of educational facilities is a crucial aspect of supporting sustainable regional development, particularly at the senior high school level as part of the secondary education system. Inequality in school distribution may affect accessibility and equal educational opportunities across regions. This study aims to analyze the spatial distribution patterns and service coverage of senior high school facilities in Kabupaten Magetan. The research employs a quantitative approach using Geographic Information System (GIS)-based spatial analysis. Analytical techniques include mapping school distribution, applying the Average Nearest Neighbor (ANN) analysis to identify distribution patterns, and conducting buffer analysis to evaluate service accessibility to residential areas. The results indicate that educational facilities tend to form clustered patterns in areas with higher accessibility levels. Service coverage analysis also reveals disparities in accessibility among regions, where central areas demonstrate better service coverage compared to peripheral zones. These findings suggest that the equitable distribution of educational facilities still requires optimization in spatial planning to enhance educational access equity and support sustainable regional development.

Keywords: Spatial Analysis; Accessibility; Educational Facilities; Geographic Information Systems

Citation: Rafi, M. R. A. H., & Harnani. (2026). Analisis Elektrofases Berdasarkan Data *Well Logging* pada Seam Batubara A1-D di Pit N, Tanjung Enim, Sumatera Selatan. *Jurnal Pendidikan, Sains, Geologi, Dan Geofisika (GeoScienceEd Journal)*, 7(1), 661-673. <https://doi.org/10.29303/goescienceed.v7i1.1741>

Pendahuluan

Formasi Muara Enim merupakan salah satu satuan pembawa batubara utama di Cekungan Sumatera Selatan dan telah lama menjadi target eksploitasi maupun kajian geologi batubara. Secara regional, evolusi cekungan dipengaruhi oleh kerangka struktur pra-Tersier dan Tersier serta sejarah tektonik yang mengontrol pengendapan satuan pembawa batubara (De Coster, 1974; Pulunggono et al., 1992; Bishop, 2001; Barber et al., 2005).

Di daerah Tanjung Enim, batubara Muara Enim umumnya berkembang pada sistem delta yang membangun suksesi delta plain hingga delta front. Variasi fasies delta menghasilkan perubahan ketebalan, kontinuitas, serta karakter interburden (misalnya clay band/parting) yang terekam pada data pemboran

maupun log sumur (Nafian & Rizal, 2021). Studi mikrofases dan lingkungan pengendapan batubara Tanjung Enim juga menunjukkan keterkaitan kuat antara kondisi mire (*peat swamp*) dan perubahan suplai sedimen terhadap karakter batubara (Amijaya & Littke, 2005). Kajian evolusi mire dan perubahan fasies gambut pada sistem deltaik juga banyak dibahas melalui pendekatan sedimentologi, petrografi batubara, geokimia, dan sequence stratigraphy (Lu et al., 2017; Guo et al., 2018; Wang et al., 2011; Shao et al., 2023).

Pada praktik eksplorasi dan perencanaan tambang, informasi mengenai variasi seam-interburden penting untuk memprediksi kontinuitas batubara, kualitas (misalnya pengaruh parting terhadap ash), serta risiko geoteknik *roof/floor*. Banyak parameter batubara dapat dikaitkan dengan lingkungan pengendapan dan

kontrol tektonik pada saat pembentukan gambut (Horne et al., 1978; Horne, 2020). Penelitian ini mengembangkan dan meneliti pembahasan elektrofases batubara pada seam A1-D dan interburden di daerah sumur penelitian dengan memanfaatkan interpretasi log *Gamma Ray* (GR) dan *Density*.

Geologi regional. Cekungan Sumatra Selatan berkembang sebagai cekungan Tersier dengan pengisian sedimen tebal, dipengaruhi evolusi tektonik dan perubahan muka air laut. Formasi Muara Enim (Miosen Akhir-Pliosen) umumnya diinterpretasikan sebagai endapan sistem delta-rawa (delta plain) dengan perkembangan kanal distributari, floodplain, serta area penggabutan (peat mire). Kondisi ini menghasilkan seam-seam batubara berulang yang dipisahkan oleh paket klastik halus hingga pasir, sehingga karakter log memperlihatkan siklus rendah-tinggi GR secara berulang (Bishop, 2001; Barber et al., 2005).

Relevansi elektrofases untuk geologi tambang. Pada skala tambang terbuka, keputusan pemisahan parting (clay band) dari batubara, penentuan batas interburden, serta pemodelan ketebalan bersih akan berdampak langsung pada kualitas produk Batubara dan efisiensi pengupasan. Elektrofases berbasis dengan motif log membantu memperjelas zona heterolitik dan batas yang berpotensi menyebabkan *dilution*, sekaligus menyediakan dasar kuat untuk interpretasi lingkungan pengendapan untuk memprediksi kontinuitas seam antar area (Horne et al., 1978; Thomas, 2020).

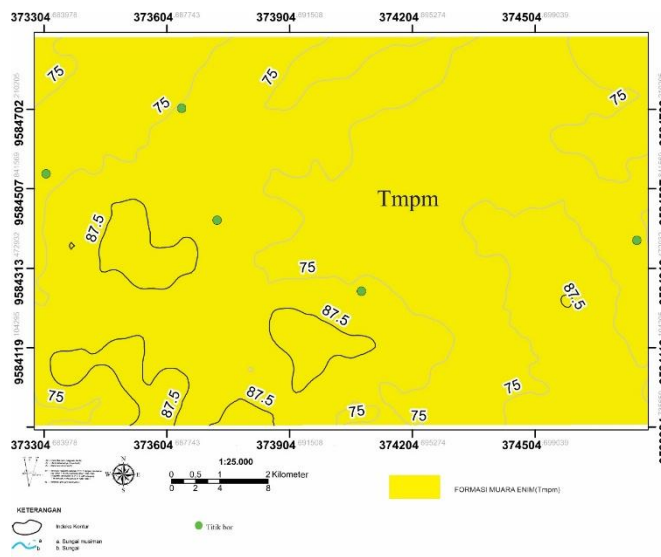
Masalah dan urgensi. Pemisahan seam yang berdekatan (misalnya A1-A2) dapat bias jika hanya mengandalkan deskripsi inti terbatas. Selain itu, interburden heterolitik (misalnya A2-B1 dan B2-C) sering menunjukkan perubahan litologi cepat sehingga batas seam mudah bergeser. Pendekatan elektrofases melalui motif kurva GR menyediakan cara cepat untuk menghubungkan respon log terhadap perubahan ukuran butir dan energi pengendapan, sehingga interpretasi dapat dilakukan secara konsisten antar sumur.

Tujuan penelitian. Penelitian ini bertujuan: (1) mengidentifikasi elektrofases pada, seam, parting (clay band), dan serta interburden seam batubara A1-D berdasarkan motif kurva GR dan respon log densitas; (2) menafsirkan kecenderungan letak dan lingkungan pengendapan sistem delta (*upper-middle-transitional lower delta plain*) pada interval penelitian; (3) merumuskan dan merumuskan untuk indikator praktis pemisahan parting/interburden untuk kebutuhan geologi tambang; dan (4) menyusun kerangka korelasi seam yang lebih stabil untuk kebutuhan perencanaan tambang.

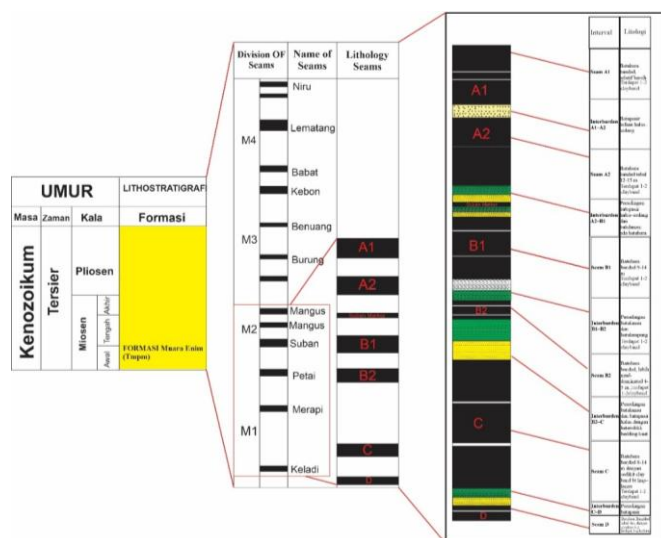
Daerah penelitian berada di wilayah Tanjung Enim, Kabupaten Muara Enim, Provinsi Sumatera Selatan. Secara regional, Cekungan Sumatera Selatan

merupakan cekungan Tersier yang berkembang di atas basement pra-Tersier dan dikontrol oleh sistem sesar berarah dominan barat-laut-tenggara serta struktur terkait (De Coster, 1974; Pulunggono et al., 1992; Barber et al., 2005).

Stratigrafi regional menunjukkan bahwa satuan pembawa batubara utama termasuk ke dalam Formasi Muara Enim. Di Tanjung Enim, seam utama yang umum dikenali meliputi A1, A2, B1, B2, C, dan D, beserta beberapa seam gantung, dengan fasies pengendapan yang didominasi sistem delta (Nafian & Rizal, 2021; Anwar et al., 2021), ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Peta Geologi daerah penelitian



Gambar 2. Skema stratigrafi lokal dan posisi seam A1-D pada interval penelitian.

Metode

Data dan batasan. Data yang digunakan berupa log sumur *Gamma Ray* (GR) dan *Density* dalam satuan count/CPS pada interval seam batubara dan

interburden. Keterbatasan jenis log (dua kurva) diatasi dengan pendekatan koherensi respons GR-*Density*: GR digunakan untuk membedakan kecenderungan kandungan lempung/lanau radioaktif, sedangkan *Density-count* digunakan sebagai pengunci litologi (batubara dan batuan klastik) dan untuk membantu identifikasi parting tipis (Akbari & Sutrisno, 2014)

Interpretasi elektrofases dilakukan melalui: (1) analisis bentuk kurva (log-shape) dan perubahan tren GR, (2) evaluasi kestabilan amplitudo GR sebagai indikator homogenitas litologi, (3) identifikasi karakter kontak seam-interburden (tajam vs gradual), dan (4) pengecekan konsistensi perubahan GR dengan anomali pada *Density-count*. Prinsip umum pemodelan fasis dan respons terhadap perubahan muka air laut serta proses pengendapan digunakan sebagai kerangka interpretasi (Walker & James, 1992; Thomas, 2020).

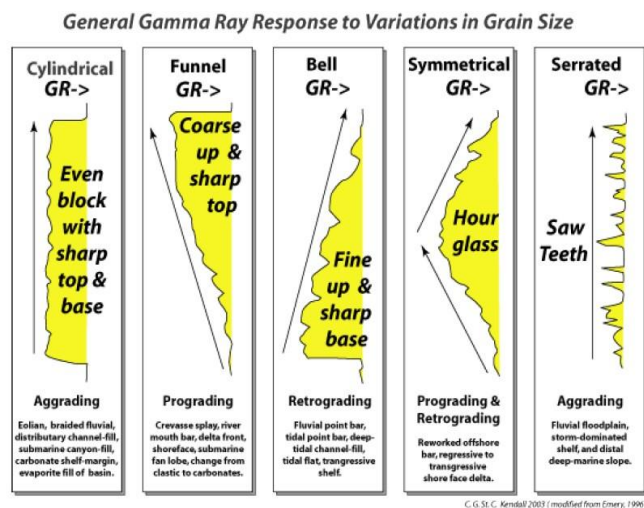
Untuk interval interburden yang heterogen, penamaan elektrofases dilakukan secara komposit per paket litologi (misalnya funnel pada pasir dan serrated pada lanau-lempung). Puncak GR sempit (spike) yang disertai perubahan *Density-count* ditafsirkan sebagai clay band/parting tipis, sedangkan GR fluktuatif yang konsisten pada ketebalan lebih besar ditafsirkan sebagai heterolitik lanau-lempung.

Produk akhir meliputi: (a) deskripsi elektrofases per seam (A1-D) dan per interburden, (b) ringkasan tren vertikal elektrofases, dan (c) diskusi penguatan berbasis literatur mengenai kaitan elektrofases dengan proses pengendapan delta plain, crevasse splay, serta evolusi peatland. Ringkasan kriteria motif GR yang digunakan dalam interpretasi ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Kriteria motif kurva *Gamma Ray* untuk interpretasi elektrofases.

Motif GR	Karakter kurva	Indikasi litologi/proses
Cylindrical/Boxcar	Nilai GR relatif konstan	Kondisi stabil; seam batubara bersih / pasir bersih (bergantung baseline)
Serrated	Fluktuasi GR cepat (zig-zag)	Heterolitik; pergantian pasir-lanau-lempung; tidal influence/mud drape
Funnel	GR menurun ke atas	Coarsening upward; progradational/crevasse splay/bar
Bell	GR meningkat ke atas	Fining upward; pengisian kanal/waning flow
Symmetrical	GR menurun lalu meningkat	Paket berlapis; bar/channel dengan perubahan energi dua arah

Skema visual motif kurva *Gamma Ray* yang digunakan sebagai acuan interpretasi elektrofases ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Skema motif kurva *Gamma Ray* untuk interpretasi elektrofases.,Kendall,2003

Hasil dan Diskusi Elektrofases per Seam

Elektrofases pada penelitian ini ditafsirkan menggunakan dua log, yaitu *Gamma Ray* (GR kurva merah : satuan cps) dan *Density* (kurva hijau: satuan cps). Interpretasi dilakukan melalui analisis bentuk kurva (log-shape analysis), kestabilan amplitudo GR, karakter kontak batas seam-interburden (tajam atau gradual), serta koherensi perubahan GR dengan respons *Density* sebagai pengunci. Pada batubara, GR umumnya sangat rendah karena miskin mineral lempung radioaktif, sedangkan batuan klastik halus (lanau-lempung-pasir) menunjukkan GR sedang-tinggi dan fluktuatif.

Penamaan motif elektrofases menggunakan klasifikasi Kendall (2003) yang membedakan lima bentuk dasar, yaitu cylindrical, funnel, bell, symmetrical, dan serrated. Log *Density* (CPS) digunakan sebagai pengunci karena data yang dipakai berupa count, sehingga hubungan CPS-densitas (g/cc) bersifat terbalik: count *Density* yang lebih tinggi merepresentasikan densitas bulk yang lebih rendah,

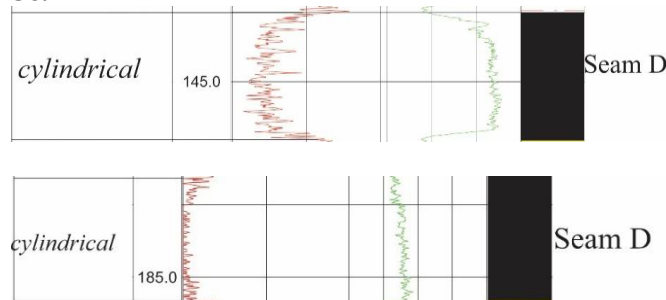
husus batubara. Dengan demikian, anomali *Density* batubara tampil sebagai defleksi count yang menonjol tetapi maknanya tetap sama (pb rendah). Kaidah ini dipakai konsisten di semua seam dan interburden. Spike GR yang diikuti perubahan *Density* diperlakukan sebagai bukti kuat adanya clay band/parting tipis (bukan sekadar noise GR).

Untuk interval interburden yang heterogen, penamaan elektrofases bersifat komposit, yaitu menyebutkan motif utama per paket litologi (misalnya funnel pada pasir dan serrated pada lanau-lempung),

Tabel 2. Ringkasan Elektrofases – Litologi – Lingkungan (Roof A1 s/d Seam D)

Interval	Pola GR (kurva merah)	Litologi utama	Intepretasi Lingkungan pengendapan
Roof A1	GR moderate-tinggi, serrated-slightly irregular	Shale / batulempung	<i>Floodplain-floodbasin</i> berenergi sangat rendah di atas rawa A1 (genangan di atas delta plain fluvial)
Seam A1	Boxcar / cylindrical low GR bersih, 2-3 spike tipis	Batubara, clay band tipis lempung	<i>Freshwater swamp</i> di <i>upper delta plain</i> , rawa tenang dengan gangguan overbank episodik
Interburden A1-A2	GR rendah-sedang, cenderung funnel / blocky lemah, tanpa mud tipis yang jelas	Batupasir tufaan	Sheet flood / crevasse-distributary splay di <i>upper delta plain</i> (fase fluvial berenergi > A1)
Seam A2	Cylindrical-boxcar low GR paling bersih, hampir tanpa fluktuasi	Batubara, sangat bersih, clay band & silicified coal minor	Raised mire / ombrogenous <i>peat swamp</i> yang sangat terisolasi dari suplai klastik (<i>upper delta plain</i>)
Interburden A2-B1	Kombinasi: pasir GR rendah-menengah funnel-shaped, lanau/lempung GR tinggi serrated, plus boxcar tipis Suban Marker	Batupasir halus-sedang + batulanau, batubara tipis Suban Marker	Siklus distributary channel-crevasse / sheet splay dan genangan floodplain/interdistributary di <i>upper delta plain</i>
Seam B1	Cylindrical-boxcar low GR, sedikit irregular dengan beberapa spike tipis	Batubara, 2-3 clay band lempung	Floodplain-backswamp hingga interdistributary swamp di <i>upper-middle delta plain</i> (lebih dekat sumber klastik daripada A1-A2)
Interburden B1-B2	GR sedang-tinggi, serrated rapat & relatif monoton, funnel/bell	Perselingan batulempung-batu lanau masif-laminasi halus	Floodbasin mud-dominated (genangan luas berenergi sangat rendah) di atas <i>floodplain delta</i> ik
Seam B2	Cylindrical-boxcar low GR dengan undulasi halus di bagian tengah-bawah, tanpa spike tinggi	Batubara, lebih mud-rich, beberapa clay band lempung-lanau	Interdistributary swamp di <i>middle-lower delta plain</i> : rawa stagnan dekat kanal distributary, mulai meningkatkan ash & sulfur
Interburden B2-C	GR sedang-tinggi, serrated rapat (lanau) dengan segmen GR sedikit lebih rendah pada pasir; bawah lebih mud-dominated, atas lebih berpasir (coarsening lemah)	Perselingan batulanau-batupasir halus (heterolitik)	Interdistributary bay-tidal flat di <i>transitional lower delta plain</i> (awal pengaruh pasut, fluvio-tidal)
Seam C	Cylindrical-boxcar low GR dengan sedikit serration atas-bawah; di satu sumur ada boxcar sedikit asimetris / hump lemah tapi tetap low GR	Batubara dengan clay band batulempung	Tidal-influenced <i>peat swamp</i> di <i>lower-middle delta plain</i> : rawa gambut masih dominan freshwater tapi mulai kena pasut; sulfur lebih variatif

Interburden C-D	GR sedang-tinggi, irregular-serrated rapat dengan osilasi pendek terus-menerus, funnel/bell	Perselingan batulanau-batupasir halus heterolitik, mud-dominated	Mud-dominated tidal flat / interdistributary bay di <i>lower delta plain</i> , dikontrol arus pasut dua arah
Seam D	Boxcar low GR dengan serration halus; di satu sumur tampak hump/bell lemah di tengah, tapi tetap low GR	Batubara dengan clay band lempung	Tidal-influenced peat swamp di bagian bawah <i>lower delta plain</i> : rawa gambut autochthonous yang sesekali menerima suspensi lanau-lempung dari sistem pasut

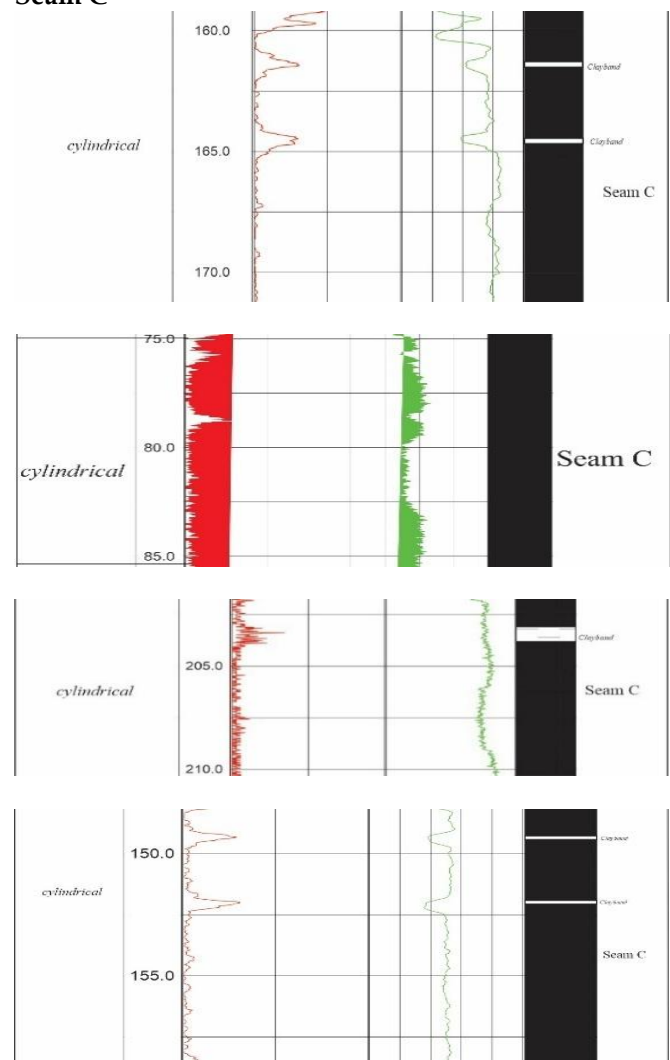
Seam D**Gambar 3. 30** Elektrofases Seam D

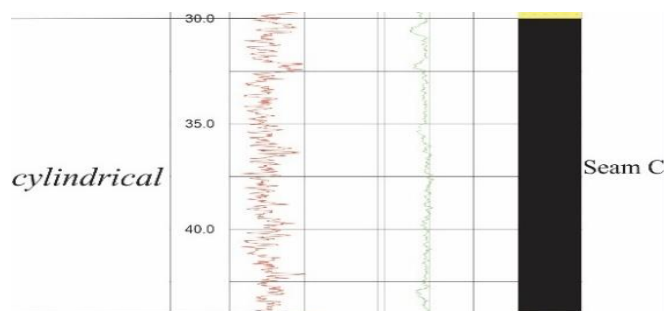
Seam D adalah kurva GR (CPS) tetap berada pada level termasuk rendah dan membentuk karakter boxcar/cylindrical, sehingga dimana seam ini secara elektrofases tetap didominasi respon batubara yang homogen, Seam D dibanding seam di atasnya muncul ketidaksimetrian halus pada bentuk boxcar dan adanya serration minor pada bagian tertentu (di tepi seam atau segmen tipis di dalam seam), sehingga bentuknya tampak miring/bergelombang kecil tanpa pernah berubah menjadi GR menengah-tinggi yang continue, Motif ini tampak sebagai plateau GR yang relatif konstan sepanjang interval seam, dengan batas seam yang umumnya tegas terhadap batuan pengapitnya. Pada 1 sumur, terdapat serration halus atau hump sangat lemah di bagian tengah seam, namun karakter dominan tetap low GR sehingga motif utamanya tidak berubah menjadi bell atau symmetrical.

Kurva *Density* (hijau) pada interval Seam D memperlihatkan respons yang kontras dibanding interburden respons ini mengindikasikan densitas bulk batubara yang lebih rendah. data *Density* yang digunakan berupa CPS, maka count yang tinggi merepresentasikan densitas (gr/cc) yang rendah, sehingga anomali *Density* batubara dapat tampil sebagai defleksi yang menonjol tetapi maknanya tetap sama (pb rendah).

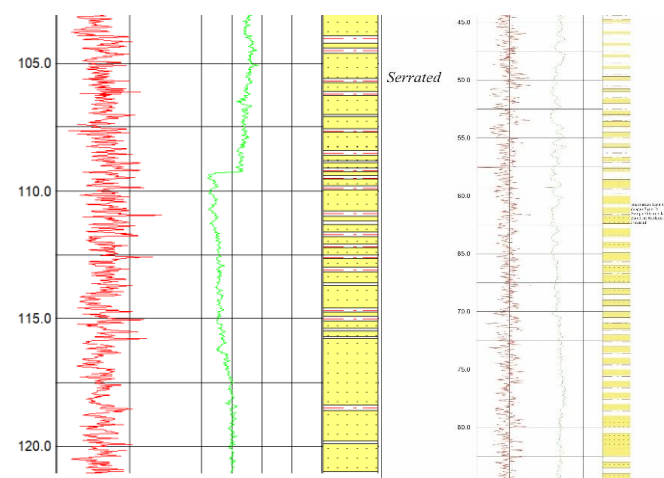
Keberadaan spike kecil pada GR yang diikuti perubahan pada *Density* sebagai pengunci adanya clay band/parting tipis, tetapi jumlahnya terbatas sehingga Seam D tetap tergolong seam dengan elektrofases batubara yang relatif homogen. kombinasi GR rendah-stabil + perubahan *Density* yang kontras menegaskan

tubuh seam yang dominan organik, sementara serration minor menjelaskan adanya sisipan/pengotor halus tipis yang tidak mendominasi seam (tetap tidak mengubah motif utama boxcar)

Seam C



Gambar 4. 31 Elektrofases seam C



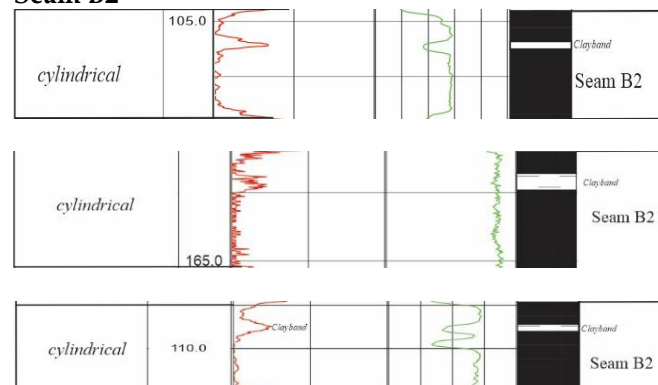
Gambar 5. 32 Elektrofases Seam C-D

Seam C motif cylindrical/boxcar low-GR, disertai undulasi kecil serta serration tipis terutama pada bagian atas dan bawah seam bentuk ini menurut konsep Kendall adalah GR rendah yang stabil yang merespon seam batubara relatif homogen, sedangkan serration tipis/undulasi adalah rekaman pengotor halus tipis clay-band yang hadir sebagai variasi internal tanpa mengubah karakter utama boxcar relatif rendah sehingga kurva GR tetap berada pada nilai rendah dan tidak membentuk tren coarsening/fining yang kuat. Pada salah satu sumur, tampak hump lemah (kenaikan GR lokal) sehingga bentuk boxcar terlihat sedikit asimetris boxcar dengan ketidaksimetrian halus, namun nilai GR tetap berada pada rentang low GR sehingga motif utamanya tetap cylindrical (Walker & James, 1992; Thomas, 2020).

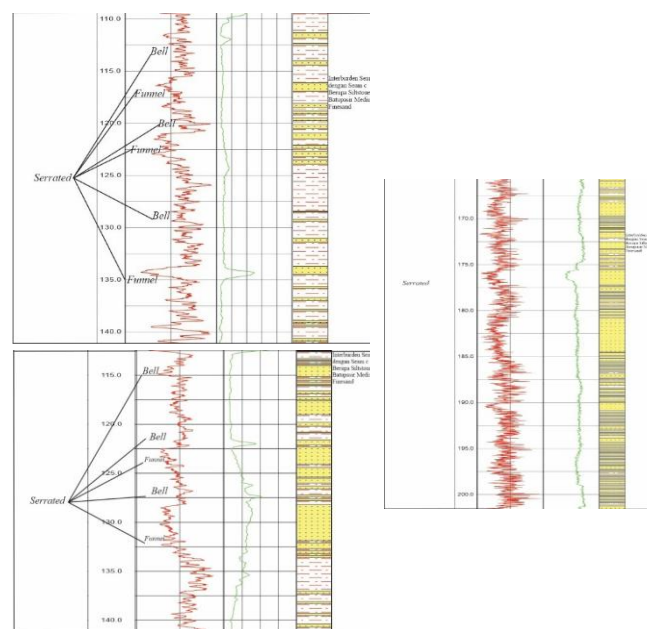
Pada *Density*, Seam C memperlihatkan respons batubara yang konsisten (mengindikasikan pb lebih rendah daripada batuan klastik). Spike kecil pada GR yang berimpit dengan perubahan *Density* ditafsirkan sebagai clay band tipis, sehingga serration tipis di batas seam menjadi pengunci adanya kontaminasi klastik yang minor. Prinsip ini selaras dengan acuan log batubara di Tanjung Enim yang umumnya dicirikan oleh GR rendah dan respons *Density* yang kontras terhadap batuan pengapit (Zaenudin et al., 2020). Interburden C-D menunjukkan bahwa perubahan yang

kontras GR meningkat ke nilai sedang-tinggi dan membentuk motif serrated (Kendall, 2003). GR yang lebih fluktuatif dan cenderung berada pada level sedang-tinggi, sehingga bentuk kurvanya paling konsisten disebut motif serrated. Bentuk serrated ditandai osilasi rapat yang berulang tanpa tren coarsening-upward (funnel) maupun fining-upward (bell) yang konsisten, GR yang lebih fluktuatif dan cenderung berada pada level sedang-tinggi, sehingga bentuk kurvanya paling konsisten disebut motif serrated. *Density* (CPS) pada interval interburden ini cenderung lebih variatif dibanding seam, dan transisi seam-interburden terkunci oleh pasangan respon GR meningkat tajam saat memasuki interburden dan diikuti perubahan *Density* yang konsisten dengan peralihan litologi dari batubara ke klastik,

Seam B2



Gambar 6. 33 Elektrofases seam B2



Gambar 7. 34 Elektrofases Interburden Seam B2-C

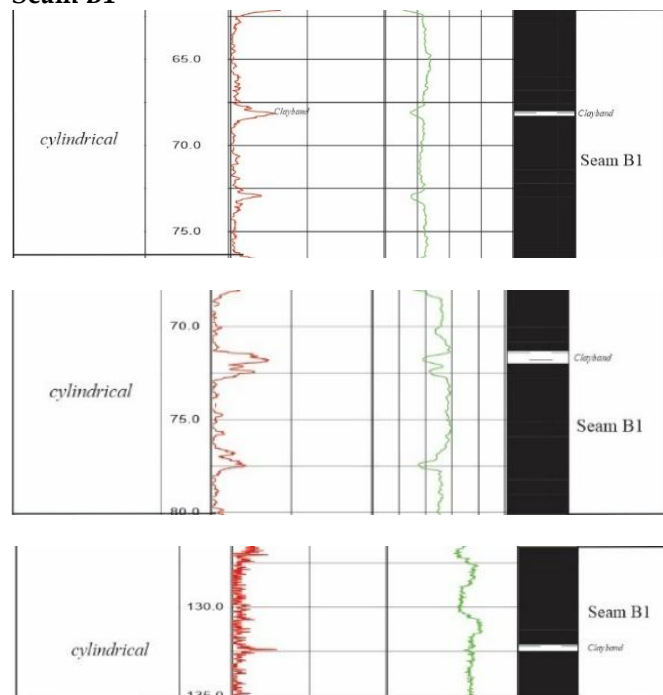
Seam B2 pada log menunjukkan motif GR cylindrical (low GR), tetapi berbeda dari Seam A2/A1

yang sangat flat, Seam B2 cenderung memiliki undulasi halus pada bagian tengah hingga bawah seam. perubahan kecil yang tetap mempertahankan karakter low GR. Secara ketat, undulasi (clayband) seperti ini masih berada dalam domain cylindrical (Kendall, 2003), meskipun ada gelombang kecil, seam ini tetap bukan serrated (karena level GR-nya tetap rendah dan tidak didominasi gerigi rapat bernilai tinggi). dengan bahwa seam memiliki clayband (Walker & James, 1992; Thomas, 2020).

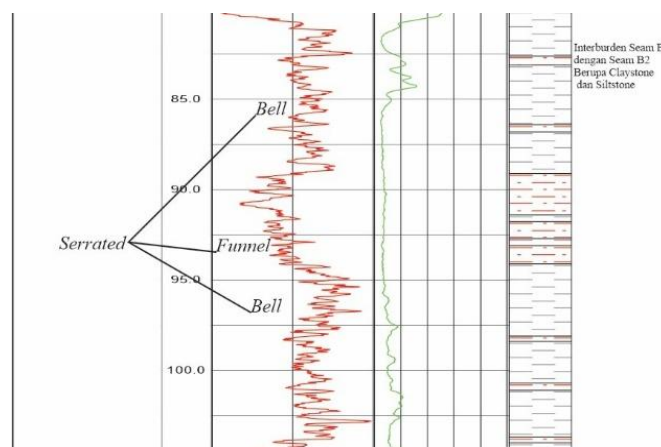
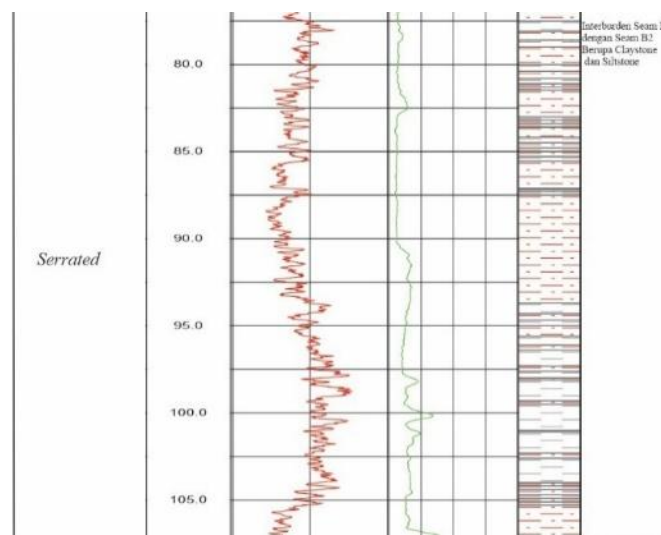
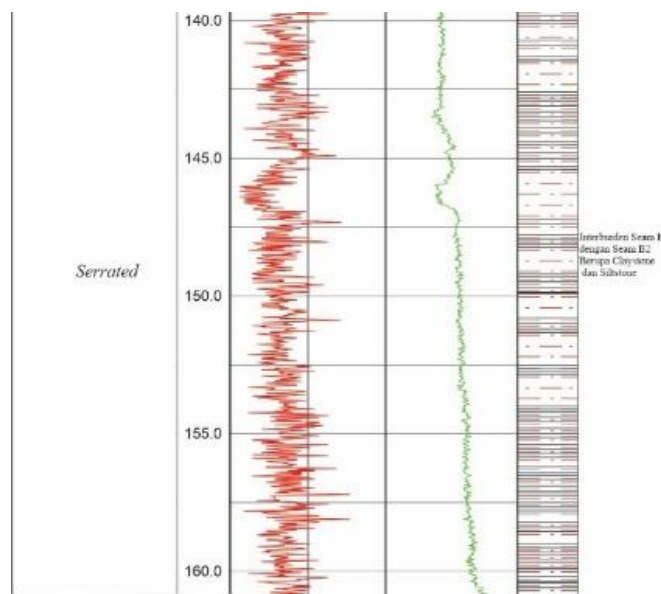
Kurva *Density* memperlihatkan respons batubara yang tetap kontras terhadap interburden, dan perubahan halus pada *Density* yang mengikuti undulasi GR menjadi pengunci bahwa variasi internal tersebut tepat. Dengan acuan hubungan CPS–densitas (gr/cc) yang bersifat terbalik, perubahan count pada *Density* yang sejalan dengan undulasi GR dapat dipakai untuk mengenali zona lebih kotor (lebih banyak mineral/clay) dibanding bagian seam yang paling bersih (Zaenudin et al., 2020).

Interburden B2–C menunjukkan GR sedang–tinggi dengan motif serrated yang dominan (Kendall, 2003). Osilasi yang rapat mencerminkan perubahan litologi tipis berulang pada interval pengapit seam. Pada beberapa segmen dapat muncul GR yang sedikit lebih rendah namun membentuk tren funnel dan bell yang kontinu dalam skala kecil sehingga motif utama tetap serrated. *Density* (CPS) memperkuat pembacaan batas respons *Density* pada seam cenderung lebih stabil, sedangkan pada interburden lebih variatif, sehingga kontak coal–clastic dapat diidentifikasi lebih tegas.

Seam B1



Gambar 8. Elektrofases Seam B1



Gambar 9. 35 Elektrofases Interbuden Seam B1-B2

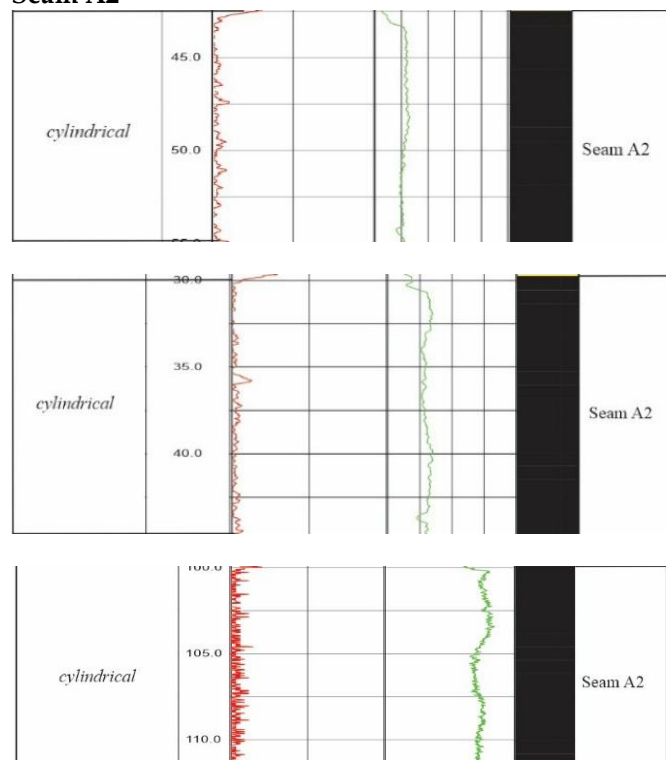
Seam B1 memperlihatkan motif GR cylindrical (low GR) yang jelas, namun umumnya menampilkan lebih banyak spike tipis dibanding Seam A1/A2. Spike tersebut mengindikasikan keberadaan clay

band/parting tipis (kenaikan GR lokal) di dalam seam. Dengan demikian, Seam B1 tetap didominasi material organik, namun memiliki rekaman gangguan pengotor halus tipis yang lebih sering (Walker & James, 1992; Thomas, 2020; Kendall, 2003).

Dari sisi *Density*, Seam B1 tetap menunjukkan respons batubara yang kontras (pb lebih rendah daripada batuan klastik). Spike GR yang disertai perubahan pada *Density* bahwa spike tersebut bukan sekadar fluktuasi GR, merupakan sisipan material klastik tipis, secara elektrofases, Seam B1 dapat disimpulkan sebagai cylindrical low-GR dengan spike clay band yang relatif lebih sering dibanding seam di atasnya (Zaenudin et al., 2020; Akbari & Sutrisno, 2014).

Interburden B1-B2 dicirikan oleh GR sedang-tinggi dengan osilasi rapat bermotif serrated yang relatif monoton. Di dalamnya terdapat tren funnel dan bell skala kecil; kombinasi pola ini dapat diklasifikasikan sebagai bentuk pola serrated (Kendall, 2003) yang merepresentasikan endapan mud-dominated dengan fluktuasi kecil berulang. Pada log *Density*, respons interburden lebih variatif dibanding seam sehingga batas litologi tampak lebih tegas dan kurva menjadi lebih fluktuatif.

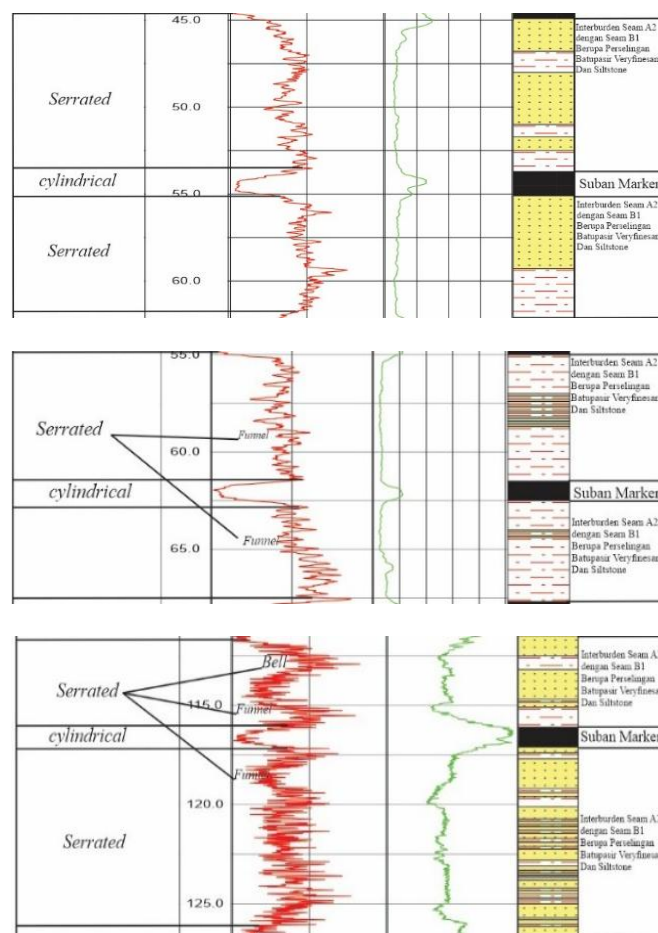
Seam A2



Gambar 9. 36 Elektrofases seam A2

Seam A2 merupakan seam dengan respon elektrofases yang paling bersih, ditunjukkan oleh motif GR cylindrical (low GR) yang sangat stabil dan hampir tanpa fluktuasi. Bentuk ini menunjukkan bahwa

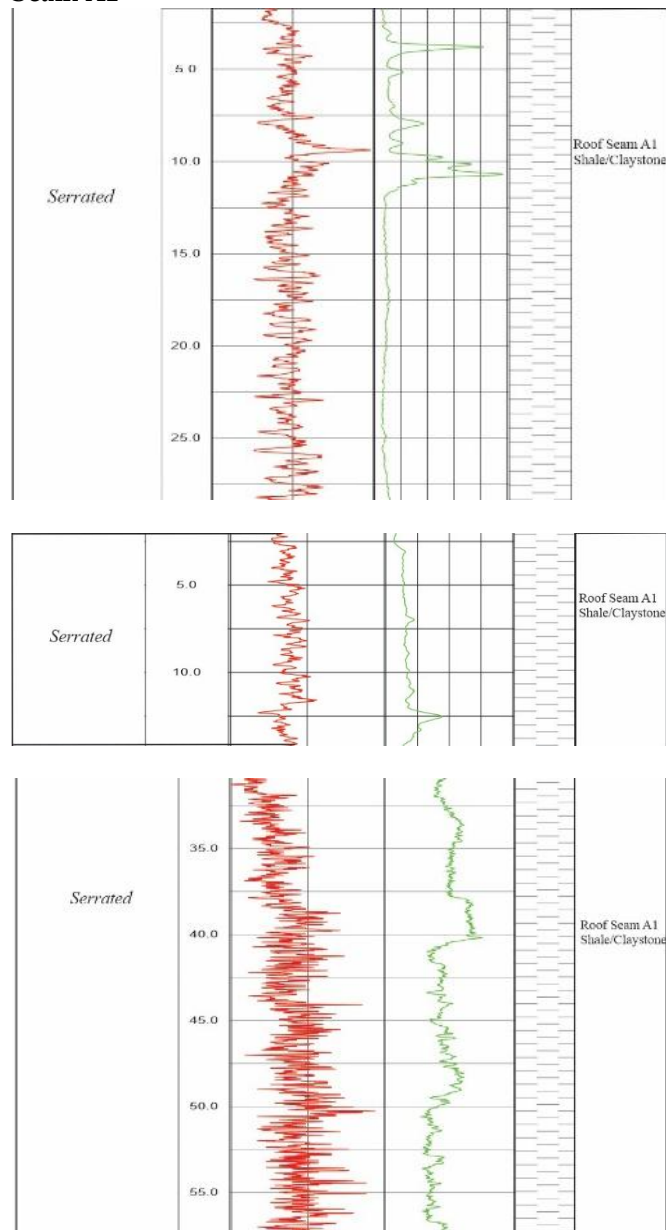
sepanjang interval seam, nilai GR tetap rendah dan tidak menampilkan tren funnel/bell maupun pola bergerigi rapat. Dalam terminologi Kendall (2003), karakter flat-low seperti ini adalah ciri paling kuat dari motif cylindrical. Pada kurva *Density*, Seam A2 menampilkan respons batubara yang paling konsisten dibanding seam lain. Hal ini menjadi pengunci bahwa seam relatif homogen dan minim parting.



Gambar 10. 37 Elektrofases Interbuden Seam A2-B1

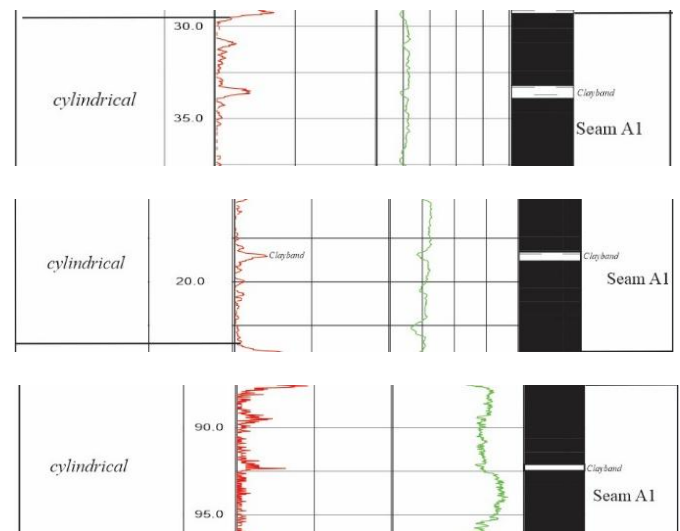
Interburden A2-B1 bersifat komposit karena kurva GR memperlihatkan kontras antar paket litologi, paket pasir menunjukkan motif funnel (coarsening upward) skala kecil, paket lanau dan pasir menunjukkan motif serrated GR sedang-tinggi, serta terdapat satu segmen boxcar low-GR tipis sebagai marker batubara (Suban Marker). Oleh karena itu, elektrofases interburden A2-B1 diklasifikasikan sebagai composite (funnel + serrated + thin boxcar marker).

Pada log *Density* berbasis CPS, batubara (Suban Marker) umumnya menunjukkan count lebih tinggi yang merepresentasikan densitas bulk lebih rendah, sedangkan batuan klastik cenderung memiliki count lebih rendah dan lebih fluktuatif (Zaenudin et al., 2020; Akbari & Sutrisno, 2014).

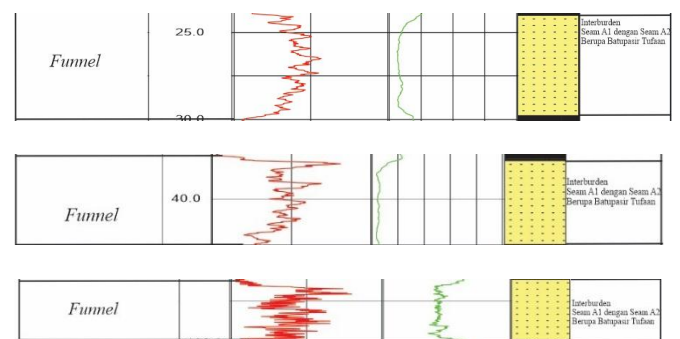
Seam A1**Gambar 11. 38 Elektrofases roof Seam A1**

Roof Seam A1 dicirikan oleh GR moderate-tinggi dengan tekstur kurva serrated. Fluktuasi bergerigi menunjukkan material halus lempung/shale yang berulang. Kurva *Density* menunjukkan respon yang lebih menyerupai litologi klastik, sehingga batas transisi dari Seam A1 ke roof terlihat jelas, GR naik tajam dan *Density* berubah menuju respons litologi klastik (Walker & James, 1992; Thomas, 2020; Kendall, 2003). Pada *Density*, roof umumnya menunjukkan respon yang lebih variatif dan cenderung berbeda dari seam batubara (count *Density* lebih rendah dibanding coal). Peran log

Density (CPS) pada roof adalah menegaskan peralihan litologi dari batubara ke batuan klastik, kenaikan GR yang diikuti penurunan count *Density* menandai bahwa material roof yang lebih padat dibanding seam batubara.

**Gambar 12. 39 Elektrofases Seam A1**

Seam A1 sendiri memperlihatkan motif GR cylindrical (low GR) yang sangat bersih, hanya terdapat 1-2 spike tipis. Spike ini sebagai clay band tipis karena bersifat lokal dan tidak mengubah karakter low GR secara keseluruhan nama boxcar/cylindrical dengan spike minor, Track *Density* memperkuat interpretasi seam karena menunjukkan respons batubara yang kontras, spike GR yang berimpit dengan perubahan *Density* mengunci keberadaan clay band/parting tipis tersebut (Akbari & Sutrisno, 2014; Zaenudin et al., 2020).

**Gambar 12. 40 Elektrofases Interbuden Seam A1-A2**

Interburden A1-A2 menunjukkan kombinasi respon. Secara umum interval ini memperlihatkan GR rendah-sedang dengan segmen yang cenderung funnel lemah pada paket yang lebih berpasir (coarsening upward).

Tabel 3. Interburden A1-A2 menunjukkan kombinasi respon

Interval	Motif GR	Bukti (ciri kurva GR)	Kendall 2003	Keterangan
Roof A1	"serrated-irregular halus"	GR sedang-tinggi, bergerigi rapat (mikro-osilasi pendek), tanpa tren funnel/bell jelas	SERRATED (high-moderate GR). Dengan deskripsi, motif irreguler	"Kurva GR (CPS) pada roof A1 membentuk motif serrated bernilai sedang-tinggi, berupa osilasi rapat yang mencerminkan dominasi mudstone dan fluktuasi deposisi kecil."
Seam A1	"GR low cylindrical/boxcar dengan beberapa spike tipis"	GR sangat rendah dan bloky/seragam, hanya spike tipis lokal (clay band)	CYLINDRICAL/BOXCAR (low GR)	"Kurva GR (CPS) Seam A1 menunjukkan motif cylindrical/boxcar low-GR dengan spike tipis lokal sebagai penanda sisipan pengotor halus."
Interburden A1-A2	funnel/weak bell lokal di pasir	Pada pasir: GR menurun ke atas (coarsening) → funnel	Funnel	"Interburden A1-A2 memperlihatkan elektrofases komposit, yakni funnel pada paket pasir (coarsening upward)"
Seam A2	"boxcar/cylindrical hampir tanpa serration (mire sangat stabil)"	GR paling rendah dan paling stabil/halus (hampir datar), nyaris tanpa serration	CYLINDRICAL/BOXCAR (very low GR, very clean)	"Kurva GR (CPS) Seam A2 membentuk motif cylindrical/boxcar sangat rendah dan paling stabil, menunjukkan seam yang sangat bersih dengan gangguan klastik minimal."
Interburden A2-B1	"pasir funnel; lanau/lempung serrated high GR; Suban Marker boxcar low GR tipis"	Kontras tajam: paket pasir - funnel; paket mud - serrated; sisipan coal tipis - boxcar rendah	COMPOSITE motif: Funnel + Serrated + Cylindrical/Boxcar (thin coal marker).	"Interburden A2-B1 menunjukkan elektrofases komposit: funnel pada pasir, serrated pada lanau-lempung, serta cylindrical/boxcar low-GR tipis sebagai penanda Suban Marker."
Seam B1	"low boxcar tapi sedikit irregular dengan spike tipis berulang"	GR rendah boxcar, ada serration halus dan spike tipis di dalam seam	CYLINDRICAL/BOXCAR (low GR) + "serration halus/spike tipis" sebagai ciri internal	"Seam B1 memperlihatkan motif cylindrical/boxcar low-GR dengan serration halus dan spike tipis berulang sebagai respons internal terhadap sisipan halus tipis."
Interburden B1-B2	"serrated/irregular rapat, dengan skala kecil funnel/bell"	GR sedang-tinggi, osilasi kecil berulang dari dasar-puncak, ada tren mengerucut (funnel) atau membulat (bell)	SERRATED (high GR).	"Interburden B1-B2 dicirikan oleh motif serrated high-GR yang rapat dan relatif monoton, menunjukkan dominasi mudstone dengan fluktuasi energi kecil berulang."
Seam B2	"low boxcar lebih bergelombang"	GR tetap rendah boxcar, namun lebih berombak (undulasi halus), tanpa spike tinggi dominan	CYLINDRICAL/BOXCAR (low GR) dengan undulasi/serration halus (internal).	"Kurva GR (CPS) Seam B2 tetap cylindrical/boxcar low-GR, tetapi menampilkan undulasi halus yang menandai peningkatan variasi internal seam."
Interburden B2-C	"GR sedang-tinggi"	GR sedang-tinggi didominasi serrated rapat dan terdapat funnel dan bell	SERRATED (moderate-high GR)	"Interburden B2-C memperlihatkan motif serrated bernilai sedang-tinggi yang mencerminkan heterogenitas mud-pasir tipis berulang."

		dalam skala kecil/halus		
Seam C	"cylindrical-boxcar bernilai rendah sedikit undulasi & serration tipis"	GR rendah boxcar, CYLINDRICAL/BOXCAR (low GR) cylindrical/boxcar low-GR yang bersih, dengan serration tipis lokal; pada beberapa sumur tampak ketidaksimetrian halus tanpa mengubah karakter boxcar utamanya."		
Interburden C-D	(litofasies heterolitik kuat; GR tinggi/serrated) dan terdapat funnel dan bell dalam skala kecil	Paket heterolitik biasanya memunculkan GR fluktuatif bergerigi (serrated) dan cenderung mud-rich	SERRATED (moderate-high GR)	"Interburden C-D menunjukkan motif serrated bernilai sedang-tinggi yang konsisten dengan dominasi heterolitik mud-rich dan osilasi energi berulang."
Seam D	"boxcar asimetri, serration minor"	GR tetap rendah CYLINDRICAL/BOXCAR (low GR) dengan asimetri halus + serration minor		"Kurva GR (CPS) Seam D membentuk motif cylindrical/boxcar low-GR dengan ketidaksimetrian halus dan serration minor, menandai seam yang tetap dominan organik namun memiliki variasi internal tipis."

Perubahan Vertikal Pola Elektrofases (A1 - D)

Secara vertikal dari seam A1 hingga seam D, pola elektrofases menunjukkan perubahan dari interval yang relatif stabil dan bersih pada bagian atas menuju interval yang lebih heterolitik dan dipengaruhi fluktuasi energi pada bagian bawah, sejalan dengan perubahan lingkungan pengendapan sistem delta-rawa pada Formasi Muara Enim di Tanjung Enim (Nafian & Rizal, 2021; Thomas, 2020). Pada bagian atas (A1-A2), seam A1 dan A2 umumnya dicirikan oleh GR rendah bermotif *cylindrical/boxcar* dengan spike lokal yang merepresentasikan *clay band/parting*, sedangkan interburden pemisahannya relatif lebih sederhana. Pola ini mengindikasikan kondisi penggabutan yang lebih stabil dan suplai klastik yang relatif rendah pada lingkungan *upper delta plain* yang dominan fluvial, sebagaimana umum pada evolusi *peat swamp* dan fasies batubara (Lu et al., 2017; Thomas, 2020).

Memasuki bagian tengah (A2-B2), interburden A2-B1 menampilkan karakter lebih kompleks dengan motif *serrated-symmetrical* dan heterolitik (termasuk *Suban Marker* sebagai horizon batubara tipis), yang mencerminkan fluktuasi energi dan perubahan cepat komposisi pasir-lanau-lempung. Kompleksitas interburden seperti ini lazim pada zona transisi kanal distributari-floodplain dan dapat dipicu episode *overbank/proses crevasse splay* maupun pergantian fasies yang cepat pada sistem delta (Burns et al., 2017; Gulliford et al., 2017; Walker & James, 1992). Indikasi pengaruh pasang-surut, misalnya *mud drape* dan heterolitik halus, juga konsisten dengan proses *tidally*

influenced delta (Olariu et al., 2012). Seam B1-B2 tetap memperlihatkan dominasi GR rendah, namun frekuensi spike *parting/clay band* lebih sering dibanding bagian atas, mengindikasikan meningkatnya gangguan klastik pada area *mire* (Lu et al., 2017; Thomas, 2020).

Pada bagian bawah (B2-C-D), interburden seperti B2-C dan C-D cenderung semakin heterolitik dengan pola GR *serrated* yang kuat (*flaser-wavy-lenticular*), menunjukkan fluktuasi energi berulang dan pengaruh pasang-surut yang lebih nyata. Secara konseptual, tren ini dapat merefleksikan pergeseran akomodasi dan dinamika *sequence stratigraphy* yang memengaruhi evolusi *peatland* dan pengisian klastik (Guo et al., 2018; Wang et al., 2011). Seam C-D tetap merekam episode penggabutan (GR rendah), tetapi berada pada konteks interburden yang lebih variatif, sehingga secara keseluruhan mencerminkan pergeseran menuju *middle* hingga *transitional lower delta plain* (Anwar et al., 2021; Thomas, 2020).

Implikasinya, interval interburden heterolitik (terutama A2-B1 dan B2-C/C-D) menjadi zona paling rawan ambiguitas batas seam dan risiko *dilution* bila *parting/interburden* tidak dipisahkan dengan baik; sementara seam tebal dengan motif *boxcar* stabil (misalnya A2) cenderung lebih mudah dikorelasikan dan lebih "bersih" secara respon log hal yang penting untuk kontrol kualitas dan perencanaan tambang (Horne et al., 1978; Thomas, 2020).

Implikasi Elektrofases terhadap Kontinuitas Seam dan Kualitas

Keberadaan parting/clay band yang terindikasi oleh spike GR yang koheren dengan perubahan *Density-count* berpotensi meningkatkan ash dan menurunkan kualitas batubara, terutama bila sisipan sedimen tersebar merata pada seam. Hubungan ash dan kualitas batubara pada Formasi Muara Enim telah didokumentasikan pada beberapa studi kualitas batubara di Sumatera Selatan (Nasution & Nalendra, 2017; Widiarso et al., 2022). Selain itu, paket interburden heterolitik yang ditafsirkan sebagai overbank/crevasse-splay dapat membatasi kontinuitas lateral seam dan meningkatkan kompleksitas geoteknik *roof/floor*. Analogi proses crevasse splay dan karakter endapan yang membentuk sisipan pasir-lanau membantu dalam memahami geometri interburden (Gulliford et al., 2017; Burns et al., 2017).

Kesimpulan

Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi dan menginterpretasikan elektrofases seam batubara A1-D serta interval interburden terkait di Pit N, Tanjung Enim (Formasi Muara Enim, Cekungan Sumatera Selatan) menggunakan data *Well Logging* berupa log *Gamma Ray* (GR) dan log densitas untuk segmentasi *roof-seam-parting/clay band*-interburden, pengenalan motif kurva (*cylindrical/boxcar, serrated, funnel, bell, dan symmetrical*), serta korelasi horizon kunci (misalnya *Suban Marker*).

Hasil menunjukkan seam A1-A2 umumnya dicirikan GR rendah bermotif *boxcar* yang merepresentasikan fase pengambutan relatif stabil, sedangkan interburden A2-B1 hingga B2-C/C-D memperlihatkan heterolitik bermotif *serrated-symmetrical* yang merekam fluktuasi energi dan pengaruh proses fluvial-pasang surut, dengan frekuensi *parting/clay band* yang cenderung meningkat pada seam B-C dibanding bagian atas. Tren vertikal dari A1 menuju D memperlihatkan pergeseran dari kondisi *upper delta plain* yang lebih stabil pada bagian atas menuju *middle* hingga *transitional lower delta plain* yang lebih heterolitik pada bagian bawah, sehingga zona interburden heterolitik menjadi interval paling kritis untuk penetapan batas seam dan pengendalian risiko *dilution*. Secara keseluruhan, integrasi elektrofases berbasis GR-densitas memberikan kerangka yang konsisten untuk korelasi seam, pemetaan variasi interburden, serta rekomendasi praktis pemisahan *parting/interburden* guna mendukung pemodelan geologi dan pengambilan keputusan operasional pada perencanaan tambang batubara.

Ucapan Terimakasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada seluruh pihak yang telah memberikan dukungan dalam pelaksanaan penelitian ini.

Referensi

- Amijaya, H., & Littke, R. (2005). Microfacies and depositional environment of Tertiary Tanjung Enim low rank coal, South Sumatra Basin, Indonesia. *International Journal of Coal Geology*, 61, 197–221.
- Anwar, A. R., Abdurrokhim, Firmansyah, Y., & Gani, R. M. G. (2021). Fasies dan lingkungan pengendapan batubara Formasi Muara Enim Lapangan “Bima”, Daerah Lubuk Betung, Sumatera Selatan. [Artikel penelitian].
- Barber, A. J., Crow, M. J., & Milsom, J. S. (2005). Sumatra: Geology, resources and tectonic evolution. Geological Society.
- Bishop, M. G. (2001). South Sumatra Basin Province, Indonesia: The Lahat/Talang Akar-Cenozoic total petroleum system. U.S. Geological Survey Open-File Report 99-50-S.
- Burns, C., Mountney, N. P., Hodgson, D. M., & Colombero, L. (2017). Anatomy and dimensions of fluvial crevasse-splay deposits: Examples from the Cretaceous Castlegate Sandstone and Neslen Formation, Utah, U.S.A. *Sedimentary Geology*, 351, 21–35. <https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2017.02.003>
- De Coster, G. L. (1974). The geology of the Central and South Sumatra basins. *Proceedings of the Indonesian Petroleum Association, Third Annual Convention*.
- Guo, B., Shao, L., Hilton, J., Wang, S., & Zhang, L. (2018). Sequence stratigraphic interpretation of peatland evolution in thick coal seams: Examples from Yimin Formation (Early Cretaceous), Hailaer Basin, China. *International Journal of Coal Geology*, 196, 211–231. <https://doi.org/10.1016/j.coal.2018.07.013>
- Gulliford, A. R., Flint, S. S., & Hodgson, D. M. (2017). Crevasse splay processes and deposits in an ancient distributive fluvial system: The lower Beaufort Group, South Africa. *Sedimentary Geology*, 358, 1–18. <https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2017.06.005>
- Horne, J. C., Ferm, J. C., Caruccio, F. T., & Baganz, B. P. (1978). Depositional models in coal exploration and mine planning in Appalachian Region. *AAPG Bulletin*, 62(12).
- Lu, J., Shao, L. Y., Yang, M. F., et al. (2017). Depositional model for peat swamp and coal facies evolution using sedimentology, coal macerals, geochemistry and sequence stratigraphy. *Journal of Earth Science*, 28(6), 1163–1177. <https://doi.org/10.1007/s12583-016-0942-7>
- Nafian, M. A., & Rizal, Y. (2021). Geologi batubara daerah Tanjung Enim, Kabupaten Muara Enim,

- Provinsi Sumatera Selatan. *Bulletin of Geology*, 5(2), 589-.
<https://doi.org/10.5614/bull.geol.2021.5.2.3>
- Nasution, F., & Nalendra, S. (2017). Characterization of coal quality based on ash content from M2 coal-seam group, Muara Enim Formation, South Sumatra Basin. *Journal of Geoscience, Engineering, Environment, and Technology*, 2(3).
<https://doi.org/10.24273/jgeet.2017.2.3.292>
- Olariu, M. I., et al. (2012). Anatomy of a laterally migrating tidal bar in front of a delta system: Esdolomada Member, Roda Formation, Tremp-Graus Basin, Spain. *Sedimentology*.
<https://doi.org/10.1111/j.1365-3091.2011.01253.x>
- Pulunggono, A., Agus Haryo, S., & Kosuma, C. G. (1992). Pre-Tertiary and Tertiary fault systems as a framework of the South Sumatra Basin: A study of SAR-maps. *Proceedings of the Indonesian Petroleum Association, Twenty First Annual Convention*.
- Sardi, B., Ripky, M., Marhum, F. A., Nompo, S., & Arif, M. (2023). Analisis proksimat, ultimat, dan kadar sulfur dalam penentuan kualitas batubara pada Formasi Bobong Pulau Taliabu-Maluku. *Sultra Journal of Mechanical Engineering*, 2(1), 45–53.
- Shao, Y., Zhao, F., Mu, G., Sun, B., Liang, K., Wang, D., Lu, J., Ma, S., & Shao, L. (2023). Sequence-paleogeography and coal accumulation of the Late Carboniferous-Early Permian paralic successions in western Shandong Province, northern China. *Marine and Petroleum Geology*, 151, 106184.
- Thomas, L. (2020). *Coal geology*. [Buku].
- Walker, R. G., & James, N. P. (Eds.). (1992). *Facies models: Response to sea level change*. Geological Association of Canada.
- Wang, H., Shao, L., Hao, L., Zhang, P., Glasspool, I. J., Wheeley, J. R., Wignall, P. B., Yi, T., Zhang, M., & Hilton, J. (2011). Sedimentology and sequence stratigraphy of the Lopingian (Late Permian) coal measures in southwestern China. *International Journal of Coal Geology*, 85, 168–183.
- Zaenudin, A., Mandala, T. A., Karyanto, & Erfani, S. (2020, July). Identifikasi fasies dan lingkungan pengendapan batubara di Air Laya Utara, Tanjung Enim, Sumatera Selatan. [Artikel penelitian].