



Analisis Kualitas Batubara pada Sumur Bor AR_10 di Kabupaten Muaraenim, Sumatera Selatan

Ridho Rizky Amanda^{1*}

¹Program Studi Teknik Pertambangan, Universitas Sriwijaya, Indonesia

*Penulis Korespondensi: ridhora@unsri.ac.id¹

Abstract. *This study aims to analyze the quality of coal from the AR_10 borehole in Muara Enim Regency, South Sumatra, based on proximate analysis. The AR_10 borehole has three coal seams (A, B, and C) that were analyzed using the standard ASTM method to determine the coal quality characteristics. The parameters analyzed include total moisture (TM), volatile matter (VM), fixed carbon (FC), ash content (Ash), calorific value (CV), and total sulfur (TS) on an as-received (AR) basis. The analysis results show that seam A has the highest moisture content (19%), seam B exhibits the optimal calorific value (6045 kcal/kg), and seam C has the highest fixed carbon content (42.63%) with the highest sulfur content (0.83%). The correlation between parameters indicates that increases in moisture and ash content negatively affect the calorific value, while an increase in fixed carbon is positively correlated with the calorific value. All three seams fall into the category of low to medium rank coal (subbituminous to high volatile bituminous) with adequate quality for power generation and industrial purposes. This research provides an important contribution to the characterization of Muara Enim Formation coal in South Sumatra for the optimization of local coal resource utilization.*

Keywords: *Calorific Value; Characteristics; Coal; Correlation; Proximate Analysis*

Abstrak. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kualitas batubara pada Sumur Bor AR_10 di Kabupaten Muaraenim, Sumatera Selatan berdasarkan analisis proksimat. Sumur bor AR_10 memiliki tiga *seam* batubara (A, B, dan C) yang dianalisis menggunakan metode standar ASTM untuk menentukan karakteristik kualitas batubara. Parameter yang dianalisis meliputi *total moisture (TM)*, *volatile matter (VM)*, *fixed carbon (FC)*, kadar abu (*Ash*), nilai kalor (CV), dan total sulfur (TS) dalam basis *as-received (AR)*. Hasil analisis menunjukkan bahwa *seam A* memiliki kadar air tertinggi (19%), *seam B* menunjukkan nilai kalor optimal (6045 kcal/kg), dan *seam C* memiliki kandungan karbon tertambat tertinggi (42,63%) dengan kadar sulfur tertinggi (0,83%). Korelasi antar parameter menunjukkan bahwa peningkatan kadar air dan abu berpengaruh negatif terhadap nilai kalor, sedangkan peningkatan *fixed carbon* berkorelasi positif dengan nilai kalor. Ketiga *seam* termasuk dalam kategori batubara peringkat rendah hingga menengah (*sub-bituminous* hingga *high volatile bituminous*) dengan kualitas yang memadai untuk keperluan pembangkit listrik dan industri. Penelitian ini memberikan kontribusi penting dalam karakterisasi batubara Formasi Muaraenim di Sumatera Selatan untuk optimalisasi pemanfaatan sumber daya batubara lokal.

Kata kunci: Analisis Proksimat; Batubara; Karakteristik; Korelasi; Nilai Kalor

1. LATAR BELAKANG

Indonesia merupakan salah satu negara produsen batubara terbesar di dunia dengan cadangan yang tersebar di berbagai wilayah, terutama di Sumatera dan Kalimantan (Amriansyah & Sihombing, 2021). Sumatera Selatan, khususnya Kabupaten Muara Enim, memiliki deposit batubara yang signifikan dalam Formasi Muaraenim yang terbentuk pada periode Miosen hingga Pliosen (Prabowo et al., 2024). Batubara dari wilayah ini telah menjadi sumber energi penting bagi kebutuhan domestik maupun ekspor, dengan karakteristik yang bervariasi tergantung pada kondisi geologi dan proses pembatubaraan (Suhat et al., 2020).

Kualitas batubara merupakan faktor krusial yang menentukan nilai ekonomis dan aplikasi pemanfaatannya (Purnama et al, 2021). Analisis proksimat dan ultimat menjadi metode standar

untuk mengevaluasi kualitas batubara, dimana analisis proksimat mengukur parameter seperti kadar air (*moisture*), zat terbang (*volatile matter*), karbon tertambat (*fixed carbon*), dan kadar abu (*ash content*), sedangkan analisis ultimat mengukur komposisi unsur kimia seperti karbon, hidrogen, nitrogen, sulfur, dan oksigen Wijayanti et al., 2024). Parameter-parameter ini memiliki korelasi yang erat dengan nilai kalor dan menentukan peringkat batubara (*coal rank*) serta kesesuaiannya untuk berbagai aplikasi industri chara (Ramdhani et al., 2024).

Di wilayah Muara Enim, batubara umumnya termasuk dalam kategori peringkat rendah hingga menengah dengan kandungan sulfur yang bervariasi (Rahman et al., 2024). Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa batubara Formasi Muaraenim memiliki karakteristik yang beragam antar seam, dengan nilai kalor berkisar antara 5000-6500 kcal/kg pada basis *as-received* (Hanum et al., 2024). Variasi kualitas ini dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti lingkungan pengendapan, tingkat pembatubaraan, kandungan mineral, dan kondisi preservasi bahan organik (Fajarwati et al., 2023). Pemahaman yang mendalam tentang karakteristik kualitas batubara pada setiap *seam* sangat penting untuk perencanaan penambangan, proses benefisi, dan penentuan strategi pemanfaatan yang optimal (Hermawan et al., 2023).

Penelitian ini dimaksudkan untuk mengevaluasi karakteristik kualitas batubara pada sumur bor AR_10 di Kabupaten Muaraenim, Sumatera Selatan melalui analisis proksimat yang komprehensif untuk mendukung optimalisasi pemanfaatan sumber daya batubara lokal. Dengan tujuan menentukan karakteristik kualitas batubara pada setiap *Seam* (A, B, dan C) di Sumur Bor AR_10 berdasarkan parameter proksimat. Menganalisis hubungan dan korelasi antar parameter proksimat terhadap nilai kalor.

2. KAJIAN TEORITIS

Kabupaten Muaraenim terletak di bagian barat Cekungan Sumatera Selatan yang merupakan cekungan sedimen tersier produktif penghasil batubara (Kusniawati et al., 2023). Formasi Muaraenim yang menjadi formasi pembawa batubara utama terbentuk pada lingkungan delta dan *coastal plain* dengan ketebalan mencapai ratusan meter (Karyadi & Setiawan, 2023). Formasi ini dicirikan oleh perselingan batupasir, batulempung, dan seam batubara dengan ketebalan bervariasi dari beberapa sentimeter hingga beberapa meter (Nurlaili & Wibowo, 2025).

Batubara Formasi Muaraenim umumnya termasuk dalam peringkat *lignite* hingga *sub-bituminous* dengan kecenderungan peningkatan peringkat ke arah timur cekungan (Rachman et al., 2025). Proses pembatubaraan dipengaruhi oleh temperatur, tekanan, dan waktu, yang mengakibatkan variasi karakteristik fisik dan kimia batubara (Zahar, 2021). Kandungan

mineral dalam batubara juga bervariasi tergantung pada sumber material klastik dan kondisi lingkungan pengendapan (Gani & Wibisono, 2023). Rachman et al., (2025) menggunakan analisis *cluster* dan statistik untuk menunjukkan perbedaan signifikan karakteristik batubara Sumatera, Kalimantan, dan Sulawesi yang dipengaruhi oleh faktor geologi regional.

Analisis Proksimat Batubara

Analisis proksimat merupakan metode standar yang digunakan untuk mengevaluasi kualitas batubara secara cepat dan ekonomis (Suhat et al., 2020). Parameter utama yang diukur meliputi kadar air (*moisture content*), zat terbang (*volatile matter*), karbon tertambat (*fixed carbon*), dan kadar abu (*ash content*) (Idarwati & Maulia, 2024). Setiap parameter memiliki implikasi penting terhadap karakteristik pembakaran dan nilai ekonomis batubara (Meak et al., 2024).

Kadar air dalam batubara terdiri dari *inherent moisture* yang terikat dalam struktur pori batubara dan *surface moisture* yang menempel pada permukaan (Andini et al., 2025). Kadar air yang tinggi menurunkan nilai kalor efektif dan meningkatkan biaya transportasi (Kusuma et al., 2025). Penelitian oleh Amriansyah & Sihombing (2021) menunjukkan bahwa peningkatan kadar air sebesar 1% dapat menurunkan nilai kalor sekitar 50 – 60 kcal/kg pada batubara Sumatera Selatan. Nurlaili & Wibowo (2025) mengkonfirmasi hubungan ini dalam penelitian di daerah pertambangan Banko, Sumatera Selatan, dengan melakukan perbandingan sistematis antara hasil analisis proksimat dan nilai kalor terukur.

Zat terbang (*volatile matter*) merupakan produk gas dan tar yang dilepaskan saat batubara dipanaskan tanpa udara (Elwiza & Khair, 2025). Kandungan zat terbang yang tinggi mengindikasikan batubara peringkat rendah dan mempengaruhi karakteristik pembakaran serta kecenderungan pembentukan jelaga (Suhat et al., 2020). Batubara dengan zat terbang tinggi (>35%) umumnya mudah terbakar tetapi menghasilkan nyala api panjang yang dapat menyebabkan masalah operasional pada *boiler* (Ramdhani et al., 2024).

Karbon tertambat (*fixed carbon*) merupakan residu padat setelah zat terbang dilepaskan dan merupakan sumber energi utama dalam batubara (Purnama et al., 2021). Semakin tinggi kandungan karbon tertambat, semakin tinggi peringkat batubara dan nilai kalornya (Rahman et al., 2024). Korelasi positif yang kuat antara karbon tertambat dan nilai kalor telah dilaporkan dalam berbagai studi pada batubara Indonesia (Hanum et al., 2024). Zahar (2021) mengkonfirmasi korelasi parameter proksimat dan ultimat terhadap nilai kalor batubara, menunjukkan bahwa karbon tertambat merupakan prediktor terbaik untuk nilai kalor.

Kadar abu (*ash content*) merupakan residu anorganik yang tersisa setelah pembakaran sempurna (Fajarwati et al., 2023). Abu bukan merupakan komponen asli batubara tetapi berasal

dari mineral yang terkandung dalam batubara dan material pengotor (Hermawan et al., 2023). Kadar abu yang tinggi menurunkan nilai kalor dan menyebabkan masalah operasional seperti *slagging* dan *fouling* pada *boiler* (Hermawan et al., 2023). Elwiza & Khair (2025) melaporkan bahwa setiap peningkatan 1% kadar abu dapat menurunkan nilai kalor sekitar 80 – 100 kcal/kg pada batubara Sumatera.

Nilai Kalor dan Total Sulfur

Nilai kalor (*calorific value*) merupakan parameter kualitas terpenting yang menentukan nilai ekonomis batubara (Kusniawati et al., 2023). Nilai kalor dipengaruhi oleh komposisi proksimat, terutama kandungan karbon tertambat, kadar air, dan kadar abu (Karyadi & Setiawan, 2023). Batubara Indonesia umumnya memiliki nilai kalor berkisar 4000-7000 kcal/kg dengan kategori batubara kalori rendah hingga menengah (Nurlaili & Wibowo, 2025). (Suhat et al, 2020) melakukan studi karakteristik beberapa batubara Indonesia dan menemukan variasi kualitas yang signifikan antar wilayah, dengan batubara Sumatera umumnya memiliki peringkat lebih rendah dibandingkan Kalimantan.

Total sulfur dalam batubara merupakan parameter lingkungan yang penting karena pembakaran sulfur menghasilkan emisi SO₂ yang berkontribusi terhadap hujan asam dan polusi udara (Rachman et al., 2025). Batubara Indonesia umumnya memiliki kandungan sulfur rendah (<1%) dibandingkan batubara dari negara lain (Zahar, 2021). Namun, variasi kadar sulfur antar seam dapat signifikan tergantung pada kondisi lingkungan pengendapan, terutama pengaruh air laut dan aktivitas bakteri pereduksi sulfat (Gani & Wibisono, 2023). Penelitian oleh Fajarwati et al. (2023) menunjukkan korelasi negatif antara total sulfur dan nilai kalor pada batubara Kalimantan, dimana peningkatan kadar sulfur cenderung menurun pada batubara dengan peringkat lebih tinggi. Andini et al. (2025) melaporkan pentingnya blending batubara dengan kadar sulfur berbeda untuk memenuhi spesifikasi PLTU yang mensyaratkan total sulfur maksimum 0,8%.

Beberapa penelitian terkait kualitas batubara di wilayah Sumatera Selatan telah dilakukan sebelumnya. Purnama et al. (2021) melakukan studi kualitas batubara *Seam D* Formasi Muaraenim di Sub-cekungan Palembang Tengah dan menemukan variasi nilai kalor 5200-6100 kcal/kg dengan kadar abu 2-8%. Karyadi & Setiawan (2023) mengkarakterisasi *seam* batubara berdasarkan analisis proksimat pada Formasi Muaraenim di Pit *Middle West*, Kabupaten Musi Banyuasin, dan melaporkan korelasi kuat antara kadar abu dengan nilai kalor.

Hanum et al. (2024) melakukan analisis komparatif kualitas batubara di berbagai cekungan Sumatera dengan fokus pada nilai kalor, kadar air, dan kandungan sulfur, menemukan bahwa batubara Sumatera Selatan memiliki karakteristik sulfur rendah (<1%)

yang menguntungkan untuk aplikasi pembangkit listrik. Hermawan et al. (2023) mengkarakterisasi pasokan batubara PLTU berdasarkan analisis proksimat dan nilai kalor periode 2019 – 2021, menunjukkan pentingnya konsistensi kualitas untuk efisiensi operasional pembangkit.

Penelitian oleh Wijayanti et al. (2024) tentang pengaruh karakteristik batubara Indonesia terhadap energi aktivasi pirolisis menunjukkan bahwa komposisi proksimat, khususnya zat terbang dan karbon tertambat, mempengaruhi reaktivitas batubara dalam proses konversi termokimia. Ramdhani et al. (2024) menganalisis karakteristik batubara peringkat rendah dan menengah Indonesia serta pengaruhnya terhadap kapasitas adsorpsi CO₂, menemukan korelasi antara struktur pori yang dipengaruhi komposisi proksimat dengan kemampuan penyimpanan karbon.

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan pada Sumur Bor AR_10 yang terletak di wilayah Kabupaten Muaraenim, Provinsi Sumatera Selatan (Gambar 1). Daerah penelitian dapat ditempuh menggunakan jalur darat yang berjarak 176 km dari Kota Palembang (Ibu Kota Provinsi Sumatera Selatan) selama 5 jam perjalanan. Wilayah ini merupakan bagian dari Cekungan Sumatera Selatan yang kaya akan deposit batubara Formasi Muaraenim.

Sumur Bor AR_10 menembus tiga seam batubara yang diberi label A, B, dan C dari atas ke bawah. Ketiga *seam* ini merupakan target eksploitasi utama dengan ketebalan yang bervariasi dan karakteristik litologi yang khas untuk batubara Formasi Muaraenim. Lokasi penelitian dapat diakses melalui jalan tambang yang menghubungkan dengan infrastruktur utama pertambangan di wilayah Muaraenim.



Gambar 1. Peta Administrasi Provinsi Sumatera Selatan.

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah hasil analisis laboratorium batubara dari tiga *Seam* (A, B, dan C) pada sumur bor AR_10. Sampel batubara diambil menggunakan metode *channel sampling* yang mengikuti standar ASTM D4596 untuk memastikan representativitas *sampel*. Setiap *sampel seam* diambil secara sistematis dari singkapan batubara dengan interval yang merata sepanjang ketebalan *seam*.

Data analisis proksimat yang diperoleh meliputi, *total moisture (TM)*, *volatile matter (VM)*, *fixed carbon (FC)*, *ash content (Ash)*, *total sulfur (TS)* dalam persen (%) dan *calorific value (CV)* dalam kilokalori per kilogram (kcal/kg). Seluruh parameter dianalisis dalam *basis as-received (AR)*, yang merepresentasikan kondisi batubara seperti diterima dari lapangan tanpa perlakuan khusus. Basis AR dipilih karena memberikan gambaran kualitas batubara yang sebenarnya untuk keperluan evaluasi ekonomis dan aplikasi industri.

Preparasi Sample

Sampel batubara dari setiap *seam* dipreparasi sesuai standar ASTM D2013 untuk preparasi sampel batubara. Tahapan preparasi meliputi pengeringan udara (*air drying*) untuk mengurangi kelembaban permukaan. Pengecilan ukuran (*crushing*) menggunakan *jaw crusher* dan *roll crusher*. Penghalusan (*grinding*) hingga lolos ayakan 250 μm (60 mesh). Homogenisasi menggunakan metode *cone and quartering*. Penyimpanan dalam wadah kedap udara untuk mencegah oksidasi dan perubahan kadar air.

Analisis Proksimat

Analisis proksimat dilakukan di laboratorium terakreditasi mengikuti standar ASTM untuk setiap parameter. *Total moisture* (ASTM D3173) penentuan kadar air total menggunakan metode pemanasan langsung pada temperatur 105-110°C dalam oven hingga berat konstan. Kadar air dihitung dari penurunan berat sampel sebelum dan sesudah pemanasan. *Volatile matter* (ASTM D3175) penentuan zat terbang dilakukan dengan memanaskan sampel pada temperatur 950 \pm 20°C dalam *muffle furnace* tanpa udara selama 7 menit. Zat terbang dihitung dari penurunan berat *sampel* dikurangi kadar air. *Ash content* (ASTM D3174) penentuan kadar abu dilakukan dengan pembakaran sempurna *sampel* pada temperatur 750°C dalam *muffle furnace* dengan aliran udara hingga berat konstan. *Fixed Carbon (by difference)* karbon tertambat dihitung secara persentasi dengan nilai 100 dikurangi jumlah dari kadar air, zat terbang, dan abu. *Total sulfur* (ASTM D4239) penentuan total sulfur menggunakan metode *high-temperature combustion* dengan detektor inframerah. Sampel dibakar pada temperatur tinggi dalam atmosfer oksigen dan SO₂ yang terbentuk diukur secara instrumental. *Calorific value* (ASTM D5865) Nilai kalor ditentukan menggunakan *bomb calorimeter* tipe adiabatik.

Sampel dibakar dalam atmosfer oksigen bertekanan tinggi (25 – 30 atm) dan panas yang dilepaskan diukur melalui kenaikan temperatur air dalam kalorimeter.

Analisis Data

Data hasil analisis proksimat dari ketiga seam ditabulasi dan dianalisis secara statistik deskriptif untuk mengevaluasi karakteristik kualitas batubara. Analisis meliputi, perbandingan antar *seam* terhadap nilai setiap parameter proksimat antar *seam* A, B, dan C untuk mengidentifikasi variasi kualitas vertikal dalam sumur bor AR_10. Analisis korelasi mengevaluasi hubungan antar parameter proksimat, khususnya pengaruh kadar air, kadar abu, zat terbang, dan karbon tertambat terhadap nilai kalor menggunakan analisis korelasi. Penentuan peringkat batubara dengan mengklasifikasikan peringkat batubara berdasarkan sistem klasifikasi ASTM D388 yang mempertimbangkan nilai kalor dan kandungan zat terbang. Evaluasi kualitas menilai kesesuaian batubara untuk berbagai aplikasi industri berdasarkan spesifikasi standar, terutama untuk pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) dan industri semen.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Analisis Proksimat

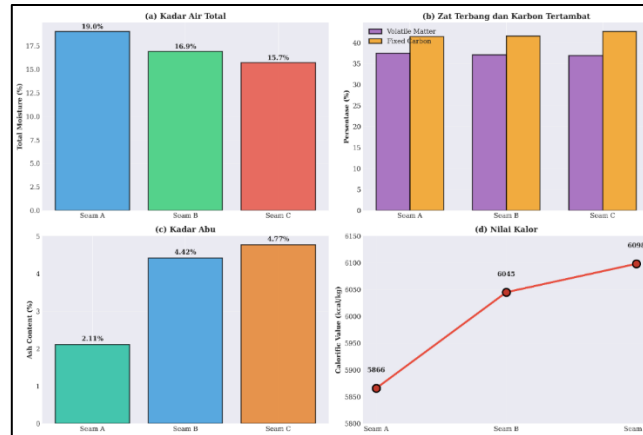
Pada Sumur Bor AR_10 terdapat tiga lapisan batubara yang dipotong oleh bor. Batubara tersebut diambil dan dilakukan analisis pada laboratorium. Hasil analisis proksimat batubara dari tiga *seam* (A, B, dan C) pada sumur bor AR_10 disajikan dalam Tabel 1. Data menunjukkan variasi karakteristik kualitas batubara antar seam yang mencerminkan perbedaan kondisi pembatubaraan dan lingkungan pengendapan.

Tabel 1. Hasil Analisis Proksimat Batubara Sumur Bor AR 10 (*Basis As-Received*).

Parameter	Satuan	Seam A	Seam B	Seam C
Total Moisture (TM)	%	19,00	16,90	15,70
Volatile Matter (VM)	%	37,48	37,08	36,91
Fixed Carbon (FC)	%	41,42	41,60	42,63
Ash Content (Ash)	%	2,11	4,42	4,77
Calorific Value (CV)	kcal/kg	5866	6045	6098
Total Sulfur (TS)	%	0,27	0,22	0,83

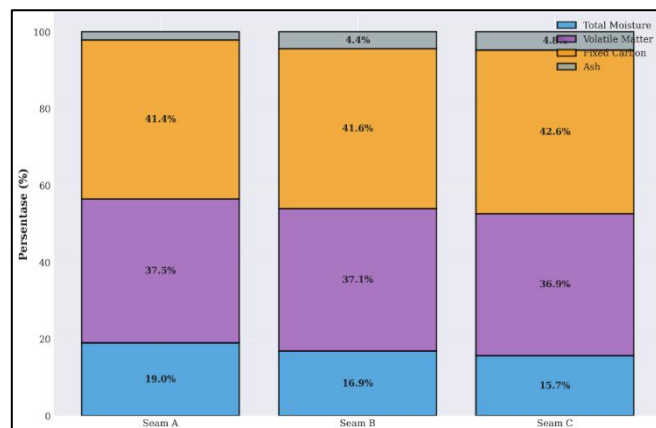
Dari Tabel 1 dapat diamati bahwa ketiga seam memiliki karakteristik yang berbeda. *Seam* A memiliki kadar air tertinggi (19%) dengan nilai kalor terendah (5866 kcal/kg), sedangkan *seam* C menunjukkan kadar air terendah (15,7%) dengan nilai kalor tertinggi (6098 kcal/kg). *Seam* B menunjukkan karakteristik intermediat dengan keseimbangan parameter yang optimal untuk aplikasi industri.

Perbandingan visual parameter proksimat antar *seam* disajikan dalam Gambar 2. Gambar 2a menunjukkan tren penurunan kadar air dari *seam* A ke *seam* C, sedangkan Gambar 2b membandingkan kandungan zat terbang dan karbon tertambat yang relatif seragam antar *seam*. Gambar 2c memperlihatkan peningkatan kadar abu dari *seam* A ke *seam* C, dan Gambar 2d menunjukkan tren peningkatan nilai kalor yang berkorelasi dengan penurunan kadar air.



Gambar 2. Perbandingan Parameter Analisis Proksimat Sumur Bor AR_10.

Komposisi proksimat secara keseluruhan divisualisasikan dalam bentuk diagram batang bertumpuk pada Gambar 3, yang menunjukkan proporsi relatif setiap komponen dalam basis *as-received*. Dari diagram ini terlihat bahwa karbon tertambat dan zat terbang mendominasi komposisi batubara (sekitar 78-80%), diikuti oleh kadar air (15,7-19%), dan kadar abu yang relatif rendah (2,11-4,77%). Batubara *Seam* A memiliki persentase paling tinggi pada kadar air dan zat terbang, sedangkan untuk karbon tetap dan abu paling rendah. Persentase paling rendah untuk kadar air dan zat terbang berada pada *Seam* C, namun pada *seam* ini karbon tetap dan abu memiliki nilai paling tinggi.



Gambar 3. Komposisi Proksimat Batubara Sumur Bor AR_10 (*Basis As-Received*).

Karakteristik *Total Moisture (TM)*

Kadar air total pada ketiga seam berkisar antara 15,7% hingga 19%, dengan tren penurunan dari seam A ke seam C. Kadar air yang tinggi pada seam A (19%) mengindikasikan tingkat pembatubaraan yang relatif rendah atau pengaruh kondisi preservasi yang berbeda. Amriansyah & Sihombing (2021) melaporkan bahwa batubara di wilayah Banko, Tanjung Enim memiliki kadar air berkisar 15-22%, yang konsisten dengan hasil penelitian ini.

Kadar air yang tinggi memiliki beberapa implikasi negatif terhadap pemanfaatan batubara. Kadar air menurunkan nilai kalor efektif karena sebagian energi digunakan untuk menguapkan air selama pembakaran (Kusuma et al., 2025). Kadar air dapat meningkatkan berat dan volume batubara, sehingga meningkatkan biaya transportasi dan *handling* (Hermawan et al., 2023). Kadar air yang tinggi dapat menyebabkan masalah operasional pada penggilingan (*grinding*) dan penyumbatan (*clogging*) pada sistem pemindahan batubara (Kusniawati et al., 2023).

Kusniawati et al. (2023) dalam penelitiannya menunjukkan bahwa setiap peningkatan 1% kadar air dapat menurunkan nilai kalor kotor (*gross calorific value*) sekitar 50 – 60 kcal/kg pada batubara Sumatera. Hal ini sejalan dengan data penelitian ini dimana perbedaan kadar air 3,3% antara seam A (19%) dan seam C (15,7%) berkorelasi dengan perbedaan nilai kalor sekitar 232 kcal/kg. Penurunan kadar air dari *seam A* ke *seam C* dapat dijelaskan oleh beberapa faktor. *Seam* yang lebih dalam (*seam C*) mengalami tekanan *overburden* lebih tinggi dan menyebabkan kompaksi lebih intensif, sehingga kapasitas air berkurang (Prabowo et al., 2024). *Seam C* tingkat pembatubaraan yang sedikit lebih tinggi akibat temperatur *subsurface* yang tinggi, sehingga batubara lebih padat dan kapasitas adsorpsi air lebih rendah (Ramdhani et al., 2024).

Karakteristik *Volatile Matter (VM)*

Kandungan zat terbang pada ketiga *seam* relatif seragam, berkisar antara 36,91% hingga 37,48%, dengan perbedaan yang tidak signifikan. Batubara dengan zat terbang tinggi mudah dinyalakan (*easy ignition*) dan menghasilkan nyala api yang panjang, yang menguntungkan untuk aplikasi PLTU (Hermawan et al., 2023). Namun, zat terbang yang terlalu tinggi dapat menyebabkan pembentukan jelaga (*soot*) dan emisi partikulat yang lebih tinggi jika pembakaran tidak sempurna (Wijayanti et al., 2024).

Prabowo et al. (2024) melaporkan bahwa batubara Sawahlunto, Sumatera Barat memiliki kandungan zat terbang berkisar 35-40%, yang serupa dengan hasil penelitian ini. Keseragaman kandungan zat terbang antar *seam* mengindikasikan bahwa ketiga *seam* berasal dari material organik yang serupa dan mengalami tingkat pembatubaraan yang relatif sama (Rahman et al.,

2024). Komposisi zat terbang dipengaruhi oleh tipe material organik asal (*maceral composition*) dan tingkat pembatubaraan (Zahar, 2021). Batubara dengan kandungan vitrinit tinggi umumnya memiliki zat terbang yang lebih tinggi dibandingkan batubara dengan kandungan inertinit tinggi (Gani & Wibisono, 2023). Wijayanti et al. (2024) menunjukkan bahwa zat terbang berkorelasi dengan energi aktivasi pirolisis, dimana batubara dengan zat terbang lebih tinggi memiliki energi aktivasi yang lebih rendah, mengindikasikan reaktivitas termal yang lebih tinggi.

Karakteristik Fixed Carbon (FC)

Kandungan karbon tertambat menunjukkan tren peningkatan dari *seam A* (41,42%) ke *seam C* (42,63%). Karbon tertambat merupakan komponen pembentuk energi utama dalam batubara dan berkorelasi positif dengan nilai kalor dan peringkat batubara (Purnama et al., 2021). Peningkatan karbon tertambat dari *seam A* ke *seam C* sejalan dengan penurunan kadar air, mengindikasikan tingkat pembatubaraan yang sedikit lebih tinggi pada *seam* yang lebih dalam.

Karbon tertambat yang tinggi menguntungkan untuk aplikasi industri karena menghasilkan panas yang stabil (Hanum et al., 2024). Batubara dengan karbon tertambat tinggi juga menghasilkan residu *char* yang lebih banyak, yang penting untuk proses gasifikasi dan karbonisasi (Karyadi & Setiawan, 2023). Karyadi & Setiawan (2023) melaporkan bahwa batubara Formasi Muaraenim di Pit *Middle West* memiliki karbon tertambat berkisar 40-45%, yang konsisten dengan hasil penelitian ini.

Perbedaan karbon tertambat antar *seam* juga dipengaruhi oleh kandungan mineral (*ash*) dan *volatile matter*. Karena karbon tertambat dihitung secara *by difference*, peningkatan kadar abu atau zat terbang akan menurunkan karbon tertambat secara matematis (Suhat et al., 2020). Dalam penelitian ini, *seam C* memiliki karbon tertambat tertinggi meskipun juga memiliki kadar abu tertinggi, mengindikasikan bahwa penurunan kadar air dan zat terbang lebih dominan dalam menentukan kandungan karbon tertambat.

Karakteristik Ash Content (Ash)

Kadar abu menunjukkan variasi yang signifikan antar *seam*, dengan *seam A* memiliki kadar abu terendah (2,11%) dan *seam C* tertinggi (4,77%). Kadar abu yang rendah pada *seam A* sangat menguntungkan karena abu bukan merupakan komponen pembentuk energi dan dapat menyebabkan berbagai masalah operasional dalam pemanfaatan batubara (Fajarwati et al., 2023). Elwiza & Khair (2025) dalam penelitiannya menunjukkan bahwa setiap peningkatan 1% kadar abu dapat menurunkan nilai kalor sekitar 80-100 kcal/kg pada batubara PT Bukit Asam. Dalam penelitian ini, perbedaan kadar abu 2,66% antara *seam A* (2,11%) dan *seam C*

(4,77%) seharusnya menghasilkan perbedaan nilai kalor sekitar 213-266 kcal/kg. Namun, nilai kalor *seam C* justru lebih tinggi dibandingkan *seam A* (perbedaan 232 kcal/kg), mengindikasikan bahwa pengaruh penurunan kadar air dan peningkatan karbon tertambat lebih dominan dibandingkan pengaruh negatif kadar abu.

Kadar abu yang tinggi pada *seam C* dapat disebabkan oleh beberapa faktor. Pertama, masuknya material klastik yang lebih intensif selama pengendapan, yang dapat berasal dari banjir periodik atau perubahan sistem *drainase* (Purnama et al., 2021). Kedua, kondisi lingkungan pengendapan yang lebih proksimal terhadap sumber sedimen, mengakibatkan kandungan mineral yang lebih tinggi (Rahman et al., 2024). Ketiga, pengaruh air tanah yang membawa mineral terlarut dan mengendap dalam pori-pori batubara (*syngenetic minerals*) (Hermawan et al., 2023).

Komposisi mineral dalam abu batubara umumnya didominasi oleh silika (SiO_2), alumina (Al_2O_3), oksida besi (Fe_2O_3), dan kalsium oksida (CaO) (Hermawan et al., 2023). Mineral-mineral ini dapat menyebabkan masalah *slagging* (pembentukan terak pada dinding tungku) dan *fouling* (penempelan abu pada pipa pemanas) dalam *boiler* PLTU jika kadar abu melebihi batas tertentu (Kusniawati et al., 2023). Untuk aplikasi PLTU, kadar abu maksimum yang direkomendasikan adalah 15% pada basis AR, sehingga ketiga *seam* dalam penelitian ini memenuhi spesifikasi tersebut dengan baik.

Karakteristik *Calorific Value* (CV)

Nilai kalor merupakan parameter kualitas terpenting yang menentukan nilai ekonomis batubara (Nurlaili & Wibowo, 2025). Hasil analisis menunjukkan nilai kalor berkisar antara 5866 kcal/kg (*seam A*) hingga 6098 kcal/kg (*seam C*), dengan *seam B* menunjukkan nilai intermediat 6045 kcal/kg. Berdasarkan klasifikasi nilai kalor, ketiga *seam* termasuk dalam kategori batubara kalori menengah (5100-6100 kcal/kg) yang sesuai untuk aplikasi PLTU dan industri (Rachman et al., (2025). Nilai kalor batubara ditentukan oleh komposisi unsur organik, terutama kandungan karbon dan hidrogen (Zahar, 2021). Oksigen dalam batubara tidak berkontribusi terhadap energi bahkan menurunkan nilai kalor karena mengikat karbon dan hidrogen dalam bentuk gugus fungsional yang memiliki energi lebih rendah (Suhat et al., 2020).

Perbedaan nilai kalor antar *seam* juga dipengaruhi oleh tingkat pembatubaraan (*coalification*). *Seam C* dengan nilai kalor tertinggi (6098 kcal/kg) dan kadar air terendah (15,7%) mengindikasikan tingkat pembatubaraan yang sedikit lebih tinggi dibandingkan *seam A* (Idarwati & Maulia, 2024). Proses pembatubaraan menyebabkan peningkatan kandungan

karbon dan penurunan kandungan oksigen dan hidrogen, yang secara net meningkatkan nilai kalor (Meak et al., 2024).

Untuk aplikasi PLTU, nilai kalor minimum yang disyaratkan umumnya 5000-5500 kcal/kg pada basis AR (Hermawan et al., 2023). Ketiga seam dalam penelitian ini memenuhi spesifikasi tersebut dengan *margin* yang memadai. *Seam* B dengan nilai kalor 6045 kcal/kg dan kadar abu moderat (4,42%) menunjukkan karakteristik yang paling optimal untuk aplikasi PLTU karena kombinasi nilai kalor yang baik dengan kadar air yang tidak terlalu tinggi (Hermawan et al., 2023).

Karakteristik *Total Sulfur* (TS)

Kandungan total sulfur menunjukkan variasi yang signifikan antar *seam*, dengan *seam* B memiliki kadar terendah (0,22%) dan *seam* C tertinggi (0,83%). Meskipun terdapat variasi, ketiga *seam* termasuk dalam kategori batubara sulfur rendah (<1%) yang menguntungkan dari aspek lingkungan (Andini et al., 2025). Sulfur dalam batubara dapat berada dalam tiga bentuk, sulfur organik, sulfur pirit (FeS_2), dan sulfur sulfat (gypsum, CaSO_4) (Fajarwati et al., 2023). Sulfur organik umumnya mendominasi pada batubara peringkat rendah, sedangkan sulfur pirit lebih umum pada batubara yang terbentuk dalam lingkungan dengan pengaruh air laut atau air tanah sulfat (Rachman et al., 2025). Idarwati & Maulia (2024) melakukan analisis karakteristik batubara Neogen di wilayah Kikim, Cekungan Sumatera Selatan, dan menemukan korelasi antara kandungan sulfur dengan lingkungan pengendapan berdasarkan data logging dan uji proksimat.

Kadar sulfur yang tinggi pada *seam* C (0,83%) dapat mengindikasikan beberapa kondisi *paleoenvironment*. Pengaruh air laut atau air payau selama pengendapan, yang menyediakan sulfat untuk aktivitas bakteri pereduksi sulfat (Zahar, 2021). Kondisi reduksi yang kuat memfasilitasi pembentukan pirit dari reaksi antara besi dan hidrogen sulfida yang dihasilkan oleh bakteri (Gani & Wibisono, 2023). Masuknya material klastik yang kaya mineral sulfida dari batuan sumber (Kusuma et al., 2025).

Andini et al. (2025) dalam penelitiannya tentang *blending* batubara untuk memenuhi spesifikasi kadar sulfur PLTU melaporkan bahwa batubara Lahat, Sumatera Selatan memiliki kadar sulfur bervariasi antara 0,3-1,2% tergantung *seam* dan lokasi. Hasil penelitian ini konsisten dengan rentang tersebut. Untuk aplikasi PLTU, kadar sulfur maksimum yang direkomendasikan adalah 0,8% untuk meminimalkan emisi SO_2 dan korosi pada peralatan (Hermawan et al., 2023).

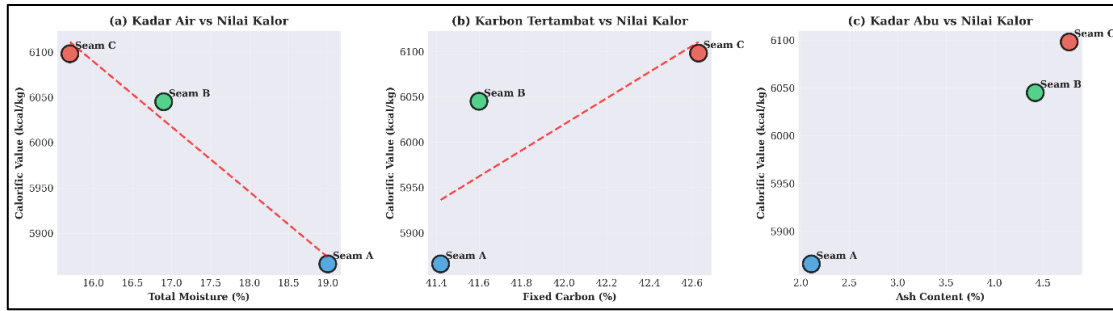
Pembakaran sulfur dalam batubara menghasilkan emisi SO_2 yang berkontribusi terhadap polusi udara dan hujan asam (Kusniawati et al., 2023). Oleh karena itu, batubara dengan kadar

sulfur rendah lebih disukai dari aspek lingkungan dan regulasi (Karyadi & Setiawan, 2023). *Seam A* dan *B* dengan kadar sulfur $<0,3\%$ sangat sesuai untuk aplikasi yang mensyaratkan emisi rendah, sedangkan *seam C* dengan kadar sulfur $0,83\%$ memerlukan pertimbangan khusus atau *blending* dengan batubara sulfur rendah untuk memenuhi standar emisi (Andini et al., 2025).

Korelasi Antar Parameter

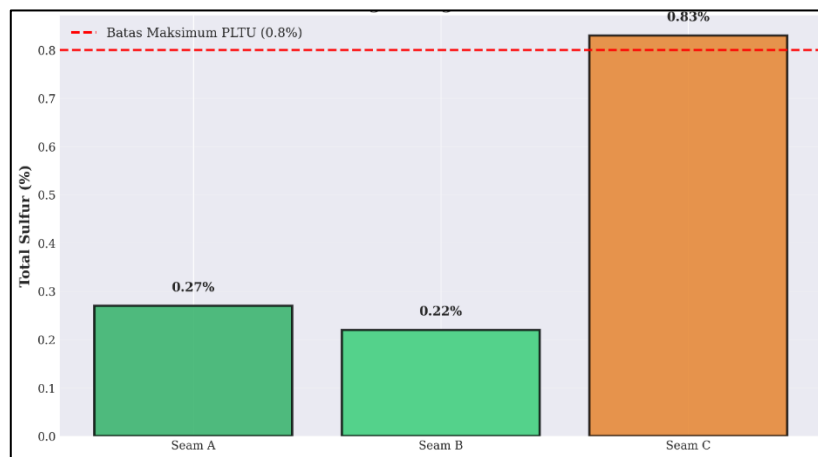
Terdapat korelasi negatif yang kuat antara kadar air dan nilai kalor. Peningkatan kadar air dari $15,7\%$ (*seam C*) ke 19% (*seam A*) diikuti oleh penurunan nilai kalor dari 6098 kcal/kg ke 5866 kcal/kg. Korelasi positif antara karbon tertambat dan nilai kalor. Peningkatan karbon tertambat dari $41,42\%$ (*seam A*) ke $42,63\%$ (*seam C*) diikuti oleh peningkatan nilai kalor dari 5866 kcal/kg ke 6098 kcal/kg. Dalam penelitian ini, korelasi antara kadar abu dan nilai kalor tidak menunjukkan pola yang konsisten. Meskipun teori menunjukkan korelasi negatif, *seam C* dengan kadar abu tertinggi ($4,77\%$) justru memiliki nilai kalor tertinggi (6098 kcal/kg). Hal ini mengindikasikan bahwa pengaruh kadar air dan karbon tertambat lebih dominan dibandingkan pengaruh kadar abu dalam menentukan nilai kalor pada batubara ini. Terdapat hubungan invers antara zat terbang dan karbon tertambat, yang merupakan konsekuensi matematis dari perhitungan karbon tertambat secara *by difference*. Namun, dalam penelitian ini, perbedaan zat terbang antar seam sangat kecil ($36,91$ - $37,48\%$), mengindikasikan tingkat pembatubaraan yang relatif seragam. Kadar sulfur tidak menunjukkan korelasi yang konsisten dengan parameter lain, mengindikasikan bahwa sulfur dipengaruhi oleh faktor-faktor independen seperti kondisi lingkungan pengendapan dan ketersediaan. *Seam C* dengan kadar sulfur tertinggi ($0,83\%$) mungkin diendapkan dalam kondisi yang lebih dipengaruhi air laut atau air tanah sulfat (Zahar, 2021).

Visualisasi korelasi antar parameter proksimat dengan nilai kalor disajikan dalam Gambar 4. Gambar 4a menunjukkan korelasi negatif antara kadar air dan nilai kalor dengan tren *linear* yang jelas. Gambar 4b memperlihatkan korelasi positif antara karbon tertambat dan nilai kalor. Gambar 4c menunjukkan bahwa hubungan antara kadar abu dan nilai kalor tidak mengikuti pola yang konsisten, mengindikasikan bahwa faktor lain (kadar air dan karbon tertambat) lebih dominan dalam menentukan nilai kalor.



Gambar 4. Analisis Korelasi Parameter Proksimat dengan Nilai Kalor Sumur Bor AR_10.

Perbandingan kandungan total sulfur dengan standar spesifikasi PLTU disajikan dalam Gambar 5. *Seam A* dan *B* memiliki kadar sulfur jauh di bawah batas maksimum 0,8%, sedangkan *seam C* berada sedikit di atas batas tersebut. Sehingga mengindikasikan perlunya *blending* untuk aplikasi PLTU tertentu.



Gambar 5. Kandungan Total Sulfur Batubara Sumur Bor AR_10 dan Perbandingan dengan Standar PLTU.

Evaluasi Kesesuaian untuk Aplikasi Industri

Ketiga *seam* memenuhi spesifikasi dasar untuk aplikasi PLTU dengan nilai kalor >5500 kcal/kg dan kadar abu <15% (Hermawan et al., 2023). *Seam B* menunjukkan karakteristik paling optimal dengan kombinasi nilai kalor tinggi (6045 kcal/kg), kadar air moderat (16,9%), kadar abu moderat (4,42%), dan kadar sulfur sangat rendah (0,22%). *Seam A* dengan kadar air tinggi (19%) mungkin memerlukan pengeringan (drying) untuk meningkatkan efisiensi pembakaran (Kusniawati et al., 2023). Hermawan et al. (2023) melaporkan bahwa konsistensi kualitas batubara sangat penting untuk efisiensi operasional PLTU. Variasi nilai kalor 5866-6098 kcal/kg dalam penelitian ini relatif kecil, sehingga ketiga *seam* dapat di-*blend* untuk menghasilkan pasokan dengan kualitas yang konsisten.

Industri semen mensyaratkan batubara dengan nilai kalor >5000 kcal/kg, kadar abu <20%, dan kadar sulfur <1% (Karyadi & Setiawan, 2023). Ketiga *seam* memenuhi spesifikasi

ini dengan baik. Kadar abu yang moderat (2,11-4,77%) menguntungkan karena abu batubara dapat berkontribusi sebagai bahan baku untuk produksi klinker semen (Nurlaili & Wibowo, 2025).

Untuk proses gasifikasi, batubara dengan kandungan zat terbang tinggi (>35%) dan reaktivitas tinggi lebih disukai (Wijayanti et al., 2024). Ketiga seam dengan zat terbang 36,91-37,48% menunjukkan potensi yang baik untuk aplikasi gasifikasi. Wijayanti et al. (2024) melaporkan bahwa batubara Indonesia dengan karakteristik serupa memiliki energi aktivasi pirolisis yang moderat, mengindikasikan reaktivitas yang memadai untuk proses konversi termokimia.

Ramdhani et al. (2024) menunjukkan bahwa batubara peringkat rendah hingga menengah Indonesia memiliki kapasitas adsorpsi CO₂ yang baik akibat struktur pori yang berkembang. Batubara dari sumur AR_10 dengan peringkat *high volatile bituminous* berpotensi untuk aplikasi penyimpanan CO₂ dalam seam batubara (CO₂-ECBM) (Kusuma et al., 2025). Kusuma et al. (2025) melaporkan potensi penyimpanan CO₂ pada batubara Formasi Muaraenim di wilayah Musi Banyuasin, yang berdekatan dengan lokasi penelitian ini.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Ketiga *seam* batubara (A, B, dan C) memiliki karakteristik kualitas yang bervariasi namun secara umum termasuk dalam kategori batubara kalori menengah dengan peringkat *high volatile bituminous coal*. Nilai kalor berkisar 5866-6098 kcal/kg, kadar air 15,7-19%, zat terbang 36,91-37,48%, karbon tertambat 41,42-42,63%, kadar abu 2,11-4,77%, dan total sulfur 0,22-0,83%.

Seam A memiliki kadar air tertinggi (19%) dan nilai kalor terendah (5866 kcal/kg), *seam* B menunjukkan karakteristik paling seimbang dengan nilai kalor 6045 kcal/kg dan kadar sulfur terendah (0,22%), sedangkan *seam* C memiliki nilai kalor tertinggi (6098 kcal/kg) dengan karbon tertambat tertinggi (42,63%) namun juga kadar abu (4,77%) dan sulfur (0,83%) tertinggi.

Saran

Untuk penelitian lanjutan dapat melakukan analisis ultimat untuk menentukan komposisi unsur (C, H, N, S, O) yang memberikan pemahaman lebih mendalam tentang karakteristik kimia batubara. Melakukan analisis petrografi untuk menentukan komposisi maseral dan reflektansi vitrinit guna konfirmasi peringkat batubara dan prediksi perilaku pembakaran. Melakukan analisis karakteristik abu (*ash fusion temperature*, komposisi oksida abu) untuk

mengevaluasi potensi *slagging* dan *fouling* dalam aplikasi PLTU. Melakukan uji pembakaran skala pilot untuk mengevaluasi performa aktual batubara dalam kondisi operasional.

DAFTAR REFERENSI

- Amriansyah, M. A., & Sihombing, F. M. H. (2021). Study of ash and total moisture effects on calorific value in coal seam at West Banko Field, PT. Bukit Asam, Tbk., Tanjung Enim, South Sumatra. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 830(1), 012044. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/830/1/012044>
- Andini, U. D., Yovanda, R., & Permatasari, S. E. (2025). Analisis blending kualitas batubara pit Pe seam A, B dan C untuk memenuhi nilai kadar sulfur PLTU Keban Agung PT Priamanaya Energi Lahat Sumatera Selatan. *Jurnal Inovasi Global*, 3(8), 1374–1384. <https://doi.org/10.58344/jig.v3i8.403>
- Elwiza, A. D., & Khair, M. (2025). Analisa pengaruh kadar abu (ash content) terhadap nilai kalor batubara dengan metode BS/ISO di PT Bukit Asam Tbk. *MASALIQ*, 5(5), 2526–2540. <https://doi.org/10.58578/masaliq.v5i5.7379>
- Fajarwati, D. A., Lepong, P., & Wahidah, W. (2023). Analisis proksimat dan ultimat terhadap total sulfur dan nilai kalori pada batubara (PT Geoservices Samarinda). *Geosains Kutai Basin*, 6(2), 126. <https://doi.org/10.30872/geofisunmul.v6i2.1145>
- Gani, R. M., & Wibisono, S. A. (2023). Karakteristik batubara pada sumur MK-02 berdasarkan analisis proksimat, ultimat, dan komposisi maseral. *Jurnal Geologi dan Sumberdaya Mineral*, 24(2), 87–96. <https://doi.org/10.33332/jgsm.geologi.v24i2.687>
- Hanum, F. H., Hapsauqi, I., Jamilatun, S., & Nirmalasari, J. (2024). Comparative analysis of coal quality across various coal basins in Sumatra: A case study of calorific value, moisture content, and sulfur content. *Indonesian Journal of Chemical Research*, 12(1), 64–70. <https://doi.org/10.30598/ijcr.2024.12-han>
- Hermawan, Q. F., Khoirunisa, N., Riza, M., Sihotang, Z., & Wasono, W. (2023). Karakteristisasi batu bara berdasarkan analisis proksimat pada pasokan batu bara di PLTU “Pelita” periode 2019. *Jurnal Geosaintek*, 9(3), 194. <https://doi.org/10.12962/j25023659.v9i3.16572>
- Idarwati, I., & Maulia, D. (2024). Neogene coal characteristics and depositional environments in the Kikim area of South Sumatra Basin; Insights from logging, proximate test, sulfur test and electrofacies. *Berita Sedimentologi*, 50(1), 75–92. <https://doi.org/10.51835/bsed.2024.50.1.460>
- Karolus Meak, K., Medy Tandy, L., Hartiningsih, E., & Virman. (2024). Chemical analysis to determine coal rank in Ombrob Village coal deposits, Nimboran District, Jayapura Regency, Papua. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1437(1), 012005. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1437/1/012005>
- Karyadi, R., & Setiawan, B. (2023). Karakteristik seam batubara berdasarkan analisa proksimat pada Formasi Muara Enim di Pit Middle West PT. Bhumi Sriwijaya Perdana Coal, Kabupaten Musi Banyuasin Sumatera Selatan. *Ophiolite: Jurnal Geologi Terapan*, 5(2), 52–61. <https://doi.org/10.56099/ophi.v5i2.p52-61>
- Kusniawati, E., Pratiwi, I., & Yonika, S. N. (2023). Analisa pengaruh nilai total moisture terhadap gross calorific value pada batubara jenis X di PT Bukit Asam Tbk Unit

- Pelabuhan Tarahan. *Journal of Innovation Research and Knowledge*, 2(8), 3211–3222. <https://doi.org/10.53625/jirk.v2i8.4652>
- Kusuma, A. A. N. R. W., Anggara, F., Rahmat, S. B., & Patria, A. A. (2025). Identification and estimation of CO₂ storage capacity in Muara Enim Formation coal in Musi Banyuasin Region, South Sumatra Province. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1517(1), 012043. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1517/1/012043>
- Nurlaili, J., & Wibowo, R. C. (2025). Penentuan kualitas batubara dengan menggunakan analisis proksimat dan perbandingannya dengan nilai kalor di daerah pertambangan Banko, Sumatera Selatan. *Jurnal Teknologi dan Inovasi Industri (JTII)*, 6(1), 1–8. <https://doi.org/10.23960/jtii.v6i1.100>
- Prabowo, H., Barlian, E., Syah, N., & Ramadan, D. R. (2024). Coal quality analysis at CV Bara Mitra Kencana Sawahlunto West Sumatera. *Journal of Physics: Conference Series*, 080016. <https://doi.org/10.1063/5.0184135>
- Purnama, A. B., Yudha, S. S., & Surono, W. (2021). Quality of coal seam D of Muara Enim Formation, Central Palembang Subbasin. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 882(1), 012051. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/882/1/012051>
- Rachman, R. S., Hidayat, R., Rahmat, S. B., & Wibisono, S. A. (2025). Significance of differences from Sumatera, Kalimantan, and Sulawesi coal based on cluster analysis and statistics. *Journal of Applied Geology*, 9(2), 76. <https://doi.org/10.22146/jag.95095>
- Rahman, H., Aminuddin, M., Puspita, R., & Novendra, M. (2024). Determination of depositional environment and coal rank of Seam C Sawahlunto Formation, Ombilin Basin, West Sumatera, Indonesia. *Journal of Physics: Conference Series*, 2907(1), 012017. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2907/1/012017>
- Ramdhani, M. R., Rizal, Y., Wibisono, S. A., Rahmat, S. B., Ibrahim, M. A., & Cahyono, E. B. (2024). Characteristic analysis of Indonesian low and medium rank coals and their influence on carbon dioxide adsorption capacity. *Indonesian Journal on Geoscience*, 11(3), 391–407. <https://doi.org/10.17014/ijog.11.3.391-407>
- Suhat, A. H., Anggayana, K., & B. W. (2020). Studi karakteristik beberapa batubara Indonesia untuk mendukung prospek pemanfaatannya. *Prosiding Temu Profesi Tahunan PERHAPI*, 21–30. <https://doi.org/10.30556/jtmb.vol19.no2.2023.1245>
- Zahar, W. (2021). Parameter correlation of proximate analysis and ultimate analysis of the calorific value of coal. *Jurnal Pertambangan dan Lingkungan*, 2(1), 21. <https://doi.org/10.31764/jpl.v2i1.4715>