



ANALYSIS OF COAL QUALITY AT PT. LAMPUNUT GEOSERVICES SITE USING PROXIMATE AND ATOMIC ABSORPTION SPECTROSCOPY TESTS

ANALISIS KUALITAS BATUBARA DI PT. GEOSERVICES SITE LAMPUNUT MENGGUNAKAN UJI PROKSIMAT DAN ATOMIC ABSORPTION SPECTROSCOPY

Muh Asqhari Pradana¹, Sinardi²

^{1,2} Program Studi Teknik Kimia Universitas Fajar Makassar

E-mail: muhasqharipradana@gmail.com

ARTICLE INFO

ABSTRACT

Correspondent:

Muh Asqhari Pradana
muhasqharipradana@gmail.com

Key words:

coal, moisture content, ash content, proximate, Atomic Absorption Spectroscopy

Website:

<https://idm.or.id/JSCR/index.php/JSCR>

Page: 421 - 436

Coal is one of the main energy sources that is widely used in various sectors, including power plants, the cement industry and the metal industry. The aim of this research is to determine the quality of coal at the Lampunut Site, Central Kalimantan, based on the results of proximate tests (Inherent Moisture, Ash and Volatile Matter) as well as total moisture analysis and to determine the heavy metal content in coal ash at the Lampunut Site, Central Kalimantan, based on analysis using Atomic Absorption Spectroscopy (AAS). Based on the analysis results, the average value of Inherent Moisture was 9.92%, Total Moisture was 1.3%, Ash value was 4.8%, Volatile Matter value was 28.08%, based on the results of this analysis, all samples were included in the Bituminous type coal specifications. Ash Analysis results are dominated by SiO₂ (53.04%) and Al₂O₃ (32.64%), followed by FeO₃ (3.75%), Na₂O (4.57%), TiO₂ (2.22%), CaO (1.28%), K₂O (0.73%), MgO (0.55%), P₂O₅ (0.53%), SO₃ (0.58%), and Mn₃O₄ (0.02%).

Copyright ©2025 JSCR. All rights reserved.

INFO ARTIKEL

Koresponden

Muh Asqhari Pradana
muhasqhari pradana@gmail.com

Kata kunci:

batubara, kadar air, kadar abu, proximate, Atomic Absorption Spectroscopy

Website:

<https://idm.or.id/JSCR/index.php/JSCR>

Hal: 421 - 436

ABSTRAK

Batubara merupakan salah satu sumber energi utama yang banyak digunakan di berbagai sektor, termasuk pembangkit listrik, industri semen, dan industri logam. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui kualitas batubara di Site Lampunut, Kalimantan Tengah, berdasarkan hasil uji proksimat (Inherent Moisture, Ash, dan Volatile Matter) serta analisis total moisture dan untuk mengetahui kandungan logam berat dalam Ash batubara di Site Lampunut, Kalimantan Tengah, berdasarkan analisis menggunakan *Atomic Absorption Spectroscopy* (AAS). Berdasarkan hasil analisis diperoleh nilai rata-rata Inherent moisture 9,92%, Total moisture 1,3%, nilai Ash 4,8%, nilai Volatile Matter 28,08%, berdasarkan hasil analisis tersebut semua sampel masuk pada spesifikasi batubara jenis Bituminous. Hasil Ash Analysis didominasi kandungan SiO₂ (53,04%) dan Al₂O₃ (32,64%), diikuti FeO₃ (3,75%), Na₂O (4,57%), TiO₂ (2,22%), CaO (1,28%), K₂O (0,73%), MgO (0,55%), P₂O₅ (0,53%), SO₃ (0,58%), dan Mn₃O₄ (0,02%).

Copyright ©2025 JSCR. All rights reserved.

PENDAHULUAN

Batubara merupakan salah satu sumber energi potensial yang dapat dilihat dari aspek produksi dan ketersediaan cadangannya yang relatif besar dibandingkan sumber energi fosil lainnya di Indonesia. Batubara merupakan salah satu sumber energi utama yang banyak digunakan di berbagai sektor, termasuk pembangkit listrik, industri semen, dan industri logam. Sebagai bahan bakar fosil, batubara memiliki peranan penting dalam mendukung pertumbuhan ekonomi, terutama di negara-negara berkembang seperti Indonesia yang memiliki cadangan batubara melimpah (Zakwan & Prabowo, 2021). Keberadaan batubara masih diandalkan sebagai modal dasar pembangunan yaitu sebagai sumber energi utama untuk penyediaan listrik dan penghasil devisa negara. Kondisi tersebut dapat dilihat dari infrastruktur energi di Indonesia yang sebagian besar terdiri dari pembangkit listrik berbahan bakar batubara, yang menyediakan sekitar 60% dari kapasitas pembangkit listrik nasional. Namun, untuk memastikan efisiensi penggunaan dan mengurangi dampak lingkungan, analisis kualitas batubara menjadi langkah penting dalam rantai pasok energi (Sugianto et al., 2020).

Kualitas batubara sangat ditentukan oleh beberapa parameter utama, seperti hasil uji proksimat yang mencakup *Inherent Moisture* (IM), kadar abu (*Ash*), dan kadar zat terbang (*Volatile Matter*, VM) (Lolo et al., 2020). Parameter-parameter ini memberikan informasi terkait nilai kalor, efisiensi pembakaran, dan emisi yang dihasilkan (Suri et al., 2021). Selain itu, analisis *Total Moisture* juga diperlukan untuk mengetahui kadar air keseluruhan yang dapat memengaruhi penyimpanan, transportasi, dan pembakaran batubara (Rianto, 2022).

Metode proksimat bertujuan untuk menentukan komposisi utama batubara melalui empat parameter utama, yaitu *Inherent Moisture* (IM), *Ash*, *Volatile Matter* (VM), dan *Fixed Carbon* (FC), yang dihitung secara tidak langsung. IM menunjukkan kadar air yang terikat secara kimia dalam batubara, sedangkan *Total Moisture* mencakup semua

kandungan air, termasuk air permukaan (Yuwanto et al., 2024). Ash menggambarkan jumlah residu anorganik yang tersisa setelah pembakaran sempurna, sedangkan VM mewakili senyawa organik dan gas yang menguap saat pemanasan. FC dihitung sebagai sisa setelah dikurangi IM, Ash, dan VM, yang mencerminkan kandungan karbon padat yang dapat terbakar. Metode ini dipilih karena sesuai dengan standar internasional seperti ASTM D3172-13 (2013), memberikan hasil cepat, akurat, dan diperlukan untuk menentukan nilai kalor, efisiensi pembakaran, serta dampak lingkungan dari emisi batubara (Suri et al., 2021).

Di sisi lain, keberadaan logam berat dalam batubara juga menjadi perhatian, terutama dalam konteks dampak lingkungan. Analisis kadar abu (*Ash Analysis*) menggunakan alat *Atomic Absorption Spectroscopy* (AAS) mampu memberikan data yang akurat terkait kandungan logam seperti besi (*Fe*), magnesium (*Mg*), kalsium (*Ca*), dan logam berat lainnya. Informasi ini penting untuk mengelola limbah padat hasil pembakaran seperti *fly Ash* dan *bottom Ash*, serta memitigasi potensi polusi. Metode AAS berprinsip pada absorpsi cahaya oleh atom. Atom-atom menyerap cahaya tersebut pada panjang gelombang tertentu, tergantung pada sifat unsurnya. (Wahyuni et al., 2020).

AAS adalah teknik analisis kimia yang digunakan untuk menentukan konsentrasi unsur logam dalam sampel, termasuk komponen anorganik pada abu batubara. Prinsip kerja AAS didasarkan pada penyerapan radiasi cahaya oleh atom-atom bebas di fase gas (Zakwan dan Prabowo, 2021). Setiap unsur menyerap panjang gelombang tertentu, sehingga intensitas cahaya yang diserap berbanding lurus dengan konsentrasi unsur tersebut dalam sampel. Metode ini mampu mendeteksi logam berat seperti besi (*Fe*), magnesium (*Mg*), kalsium (*Ca*), natrium (*Na*), kalium (*K*), mangan (*Mn*), dan titanium (*Ti*) dalam konsentrasi rendah dengan sensitivitas dan selektivitas tinggi (Putri dan Fadhilah, 2020). Pemilihan AAS didasarkan pada kemampuannya menghasilkan data kuantitatif yang presisi dan akurat, sesuai dengan standar ASTM D3682-13 (2013), yang memastikan keandalan hasil untuk memantau kandungan logam berat yang dapat berdampak negatif terhadap lingkungan dan kesehatan manusia (Arifin, 2022).

PT. Geoservices, sebagai salah satu penyedia jasa analisis mineral dan energi terkemuka di Indonesia, memiliki laboratorium yang berlokasi di Site Lampunut, Kalimantan Tengah. Laboratorium ini melakukan berbagai pengujian untuk memastikan kualitas batubara sesuai dengan kebutuhan konsumen. Melalui uji proksimat, analisis total *moisture*, dan analisis abu menggunakan AAS, laboratorium ini berperan penting dalam memberikan data yang komprehensif mengenai kualitas batubara.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kualitas batubara di Site Lampunut berdasarkan uji proksimat (IM, *Ash*, VM), total *moisture*, dan analisis abu menggunakan AAS. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi terhadap pengelolaan sumber daya batubara yang lebih optimal serta mendukung keberlanjutan industri energi di Indonesia

METODE PENELITIAN

Bahan

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah batubara dari daerah Site Lampunut, Kalimantan Tengah, gas nitrogen, sesium klorida, asam hidrofiorida, dan asam borat.

Peralatan

Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah Spatula, Gelas ukur, Gelas kimia, Cawan, Baki, *Crucible moisture*, *Crucible ash content*, *Crucible volatile matter*. Oven, *Muffle furnace*, Desikator, Rangkaian alat *Atomic Absorption Spectroscopy* (AAS)

Prosedur

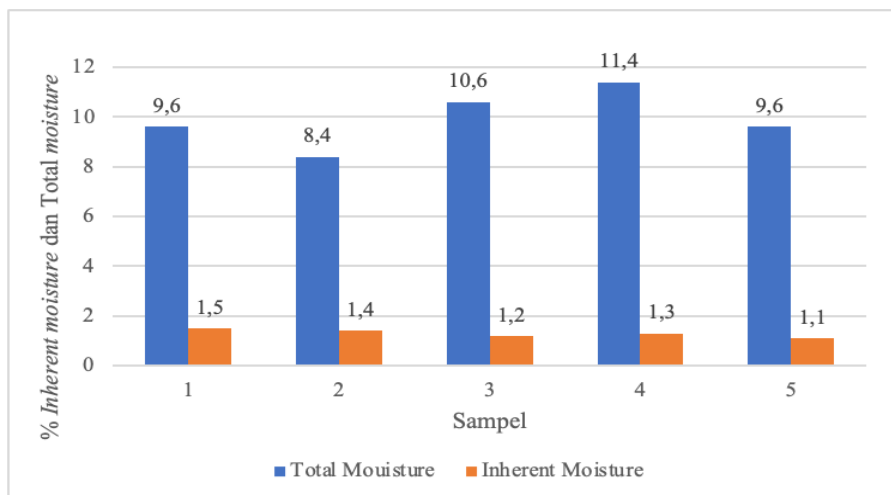
Bahan baku berupa batubara dari tambang di *crusher* menjadi ukuran 4,75 mm, kemudian batubara yang dihancurkan dihomogenkan dengan alat RSD (*Rotary Sample Devide*) lalu sampel digerus dengan *raymond mill* hingga ukuran memenuhi standar analisis dan dilakukan analisis terhadap sampel. Masing-masing sampel yang diperoleh akan dianalisis *inherent moisture*, *Total moisture*, *ash content*, *volatile matter*, dan *Ash Analysis* menggunakan alat *Atomic Absorption Spectroscopy* (AAS).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kualitas batubara di Site Lampunut, Kalimantan Tengah, berdasarkan hasil uji proksimat (*Inherent Moisture*, *Ash*, dan *Volatile Matter*), analisis *total moisture*, serta kandungan logam berat dalam *Ash* batubara berdasarkan analisis menggunakan *Atomic Absorption Spectroscopy*. **Hasil Analisis *Inherent moisture* dan *Total moisture***

Inherent Moisture merujuk pada kandungan air yang terperangkap secara alami di dalam struktur material itu sendiri. Pada batubara, misalnya, *inherent moisture* adalah air yang terikat dalam matriks batubara dan tidak bisa dihilangkan dengan proses pengeringan sederhana seperti pemanasan pada suhu rendah. *Inherent moisture* hanya bisa dilepaskan melalui pemanasan yang lebih intensif atau proses kimia yang lebih dalam. *Total Moisture* adalah jumlah total kelembaban yang terkandung dalam material, yang mencakup semua jenis air yang ada, baik itu *inherent moisture* maupun kelembaban yang ada di permukaan material (*surface moisture*).

Berikut adalah hasil analisis *Inherent moisture* dan *Total moisture*:



Gambar 1. Hasil Analisis *Inherent moisture* dan *Total moisture*

Berdasarkan Gambar 1. diperoleh hasil nilai *Inherent moisture* berkisar 1,1% sampai dengan 1,5%, nilai *Inherent moisture* tertinggi diperoleh dari sampel 1 sebesar 1,5% dan nilai *Inherent moisture* terendah diperoleh dari sampel 5 sebesar 1,1%, sedangkan hasil *Total moisture* berkisar 8,4% sampai dengan 11,4%, nilai *Total moisture* tertinggi diperoleh dari sampel 4 sebesar 11,4% dan nilai *Total moisture* terendah diperoleh dari sampel 2 sebesar 8,4%, jika dibandingkan dengan penelitian Nur et al., (2019) yang memperoleh *Total Moisture* sebesar 20,4 % dan *Inherent Moisture* sebesar 8,335 %, hasil analisis *Inherent moisture* dan *Total moisture* penelitian ini jauh lebih kecil.

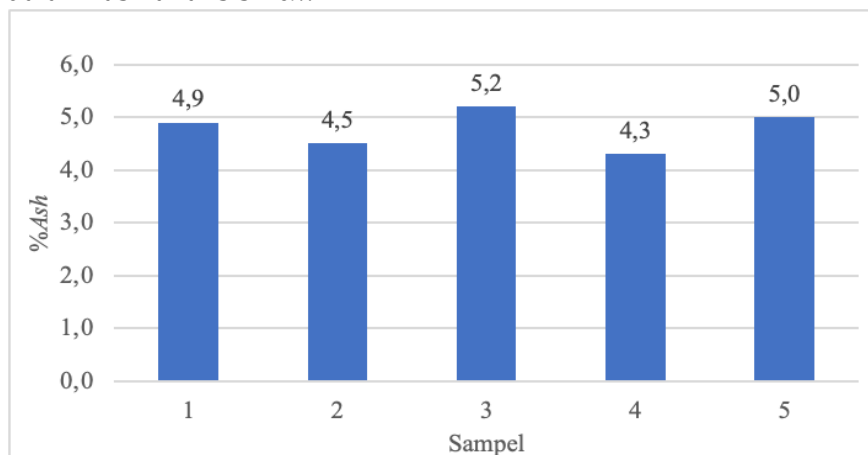
Perbedaan ini dapat disebabkan oleh faktor geografis, karakteristik geologi, serta tingkat kematangan batubara. Menurut Lolo et al. (2020), batubara dengan IM dan TM yang rendah cenderung memiliki nilai kalor yang lebih tinggi dan efisiensi pembakaran yang lebih baik. Selain itu, kadar air yang rendah mempermudah proses penyimpanan dan transportasi, mengurangi risiko penurunan kualitas akibat penguapan air selama pengangkutan (Kadir et al., 2017). Hasil ini juga sejalan dengan standar ASTM D3173-11, yang menyatakan bahwa IM pada batubara bituminous umumnya berkisar antara 2% hingga 15%, sedangkan TM dipengaruhi oleh kondisi penambangan dan penyimpanan. Dengan demikian, kadar air yang lebih rendah pada penelitian ini menunjukkan bahwa batubara dari Site Lampunut memiliki kualitas yang baik untuk aplikasi industri, terutama dalam pembangkit listrik dan produksi semen.

Kondisi lingkungan seperti hujan dan aliran air dapat mempengaruhi hasil total *moisture* dalam batubara, karena batubara yang terpapar air cenderung menyerap kelembaban lebih banyak, meningkatkan total *moisture*. Hujan yang terus-menerus dapat menyebabkan peningkatan kadar air eksternal, terutama pada sampel dengan total *moisture* lebih tinggi seperti sampel 4 (11,4%). Sebaliknya, area dengan drainase baik atau perlindungan dari air cenderung memiliki total *moisture* lebih rendah, seperti sampel 2 (8,4%). *Inherent moisture* yang stabil (1,1%-1,5%) menunjukkan bahwa faktor lingkungan lebih berpengaruh pada total *moisture* daripada *inherent moisture*, karena *inherent moisture* berasal dari struktur batubara itu sendiri (Yuwanto et al., 2024).

Batubara dengan Total *Moisture* berkisar antara 8,4% hingga 11,4% dan *Inherent Moisture* antara 1,1% hingga 1,5% adalah jenis *Bituminous*. Batubara ini termasuk batubara berperingkat tinggi dengan struktur yang lebih padat, sehingga *inherent moisture*-nya rendah. Tinggi rendahnya Total *Moisture* pada batubara dipengaruhi oleh kondisi eksternal, seperti kelembapan lingkungan, paparan air saat penambangan atau penyimpanan, serta metode pengolahan seperti pencucian atau pengeringan. Sementara itu, *Inherent Moisture* dipengaruhi oleh faktor internal, seperti kepadatan dan porositas batubara, di mana *Bituminous* memiliki struktur padat yang membuat *inherent moisture* relatif rendah. Selain itu, tingkat coalification yang lebih maju pada *Bituminous* menyebabkan sebagian besar kelembapan alami hilang selama proses pembentukan, sementara rendahnya kandungan mineral higroskopis juga membatasi kemampuan batubara menahan *moisture* (Nurul & Kambuna, 2018).

Hasil Analisis Ash

Berikut adalah hasil analisis *Ash*:



Gambar 2. Hasil Analisis *Ash*

Berdasarkan Gambar 2. diperoleh hasil nilai *Ash* berkisar 4,3% sampai dengan 5,2%, nilai *Ash* tertinggi diperoleh dari sampel 3 sebesar 5,2% dan nilai *Ash* terendah

diperoleh dari sampel 4 sebesar 4,3%, jika dibandingkan dengan penelitian Nur et al., (2019) yang memperoleh nilai *Ash* 12,47 % hasil analisis *Ash* penelitian ini jauh lebih kecil.

Perbedaan ini dapat disebabkan oleh perbedaan kualitas batubara, lokasi penambangan, dan tingkat pengotoran mineral selama proses pembentukan batubara. Menurut Lolo et al. (2020), kadar abu yang lebih rendah menunjukkan kandungan material anorganik yang lebih sedikit, sehingga menghasilkan pembakaran yang lebih efisien dengan residu yang lebih sedikit. Selain itu, batubara dengan kadar abu rendah juga menghasilkan emisi yang lebih rendah, terutama partikel padat seperti fly ash dan bottom ash, sehingga lebih ramah lingkungan (Suri et al., 2021). Kadir et al. (2017) menambahkan bahwa kadar abu yang rendah dapat meningkatkan nilai kalor batubara karena jumlah material yang tidak terbakar berkurang, sehingga memaksimalkan energi yang dihasilkan.

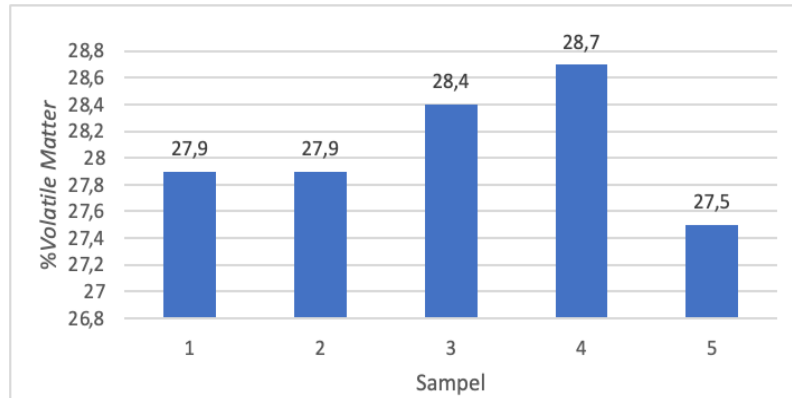
Hasil ini juga sesuai dengan standar ASTM D3174-12, yang menyatakan bahwa batubara bituminous umumnya memiliki kadar abu antara 2% hingga 10%. Dengan kadar abu yang relatif rendah, batubara dari Site Lampunut memiliki potensi yang baik untuk digunakan dalam pembangkit listrik dan industri semen, karena dapat menghasilkan pembakaran yang lebih efisien dan mengurangi biaya penanganan limbah padat. Kandungan abu pada rentang ini menunjukkan batubara dengan tingkat kemurnian yang relatif baik, karena kadar abu yang rendah menunjukkan lebih sedikit material non-karbon seperti mineral atau pengotor. *Bituminous* dengan kadar abu seperti ini sering digunakan dalam aplikasi pembangkit listrik dan industri yang memerlukan bahan bakar dengan efisiensi tinggi dan residu abu yang minimal (Wahab et al., 2021).

Kondisi lingkungan seperti hujan dan aliran air dapat mempengaruhi kadar abu (*Ash*) dalam batubara, terutama melalui pencucian mineral atau kontaminasi eksternal. Hujan deras dapat mengurangi kadar abu dengan melarutkan dan menghilangkan beberapa mineral ringan dari permukaan batubara, yang mungkin menjelaskan kadar abu terendah pada sampel 4 (4,3%). Sebaliknya, aliran air dapat membawa partikel mineral atau tanah ke dalam batubara, meningkatkan kadar abu seperti yang terlihat pada sampel 3 (5,2%). Faktor lingkungan ini dapat menyebabkan variasi dalam kadar abu, yang berpengaruh pada efisiensi pembakaran dan residu setelah pembakaran (Nur et al., 2019).

Tinggi rendahnya kadar abu (*Ash content*) pada batubara dipengaruhi oleh komposisi mineral batubara, di mana batubara dengan kandungan mineral lebih banyak cenderung memiliki kadar abu yang lebih tinggi. Selain itu, asal usul batubara dan lingkungan pembentukan juga berperan, di mana batubara yang terbentuk di daerah dengan mineralisasi tinggi memiliki kadar abu lebih tinggi. Proses pembatubaraan yang lebih lanjut, seperti pada *Bituminous*, cenderung mengurangi kadar abu karena lebih sedikit mineral yang terperangkap. Faktor lain, seperti proses penambangan, pengolahan, dan cara penyimpanan juga dapat mempengaruhi kadar abu pada batubara (Febriana, 2020).

Hasil Analisis *Volatile Matter*

Berikut adalah hasil analisis *Volatile Matter*:



Gambar 3. Hasil Analisis *Volatile Matter*

Berdasarkan Gambar 3. diperoleh hasil nilai *Volatile Matter* berkisar 27,5% sampai dengan 28,7%, nilai *Volatile Matter* tertinggi diperoleh dari sampel 4 sebesar 28,7% dan nilai *Volatile Matter* terendah diperoleh dari sampel 5 sebesar 27,5%, jika dibandingkan dengan penelitian Nur et al., (2019) yang memperoleh nilai *Volatile Matter* 25,005 % hasil analisis *Ash* penelitian ini sedikit lebih besar.

Perbedaan ini dapat disebabkan oleh perbedaan tingkat maturasi batubara dan komposisi organiknya. Menurut Lolo et al. (2020), *Volatile Matter* yang lebih tinggi menunjukkan kandungan senyawa hidrokarbon yang lebih besar, sehingga batubara memiliki kemampuan pembakaran yang lebih cepat dan mudah menyala. Suri et al. (2021) menambahkan bahwa nilai VM yang lebih tinggi dapat meningkatkan efisiensi pembakaran, terutama pada proses pembangkit listrik dan industri semen, karena senyawa volatil berkontribusi terhadap pelepasan energi selama pembakaran.

Selain itu, kadar VM juga memengaruhi karakteristik emisi gas buang, termasuk karbon dioksida (CO_2) dan senyawa hidrokarbon yang mudah menguap. Berdasarkan standar ASTM D3175-11, batubara bituminous umumnya memiliki nilai VM antara 14% hingga 38%, sehingga hasil penelitian ini berada dalam kisaran yang sesuai untuk jenis batubara tersebut. Dengan nilai VM yang relatif tinggi, batubara dari Site Lampunut memiliki potensi yang baik untuk menghasilkan energi yang efisien dan cepat terbakar, menjadikannya pilihan yang sesuai untuk berbagai aplikasi industri.

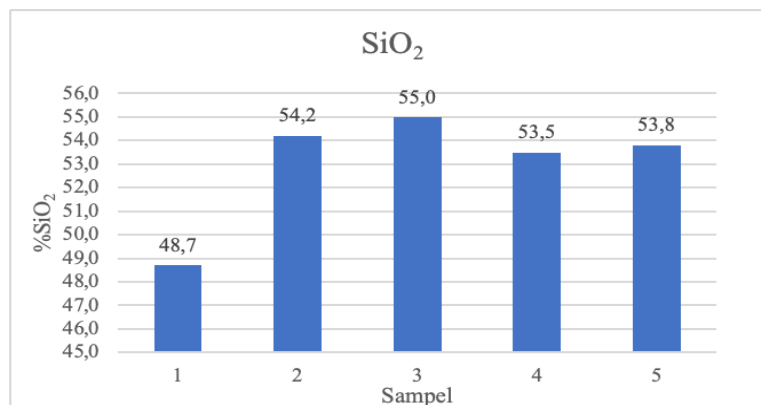
Batubara dengan nilai *Volatile Matter* berkisar antara 27,5% hingga 28,7% termasuk dalam jenis *Bituminous*. Batubara jenis ini memiliki kandungan *Volatile Matter* yang moderat, yang menunjukkan bahwa batubara tersebut mengandung sejumlah besar komponen yang dapat terlepas selama pemanasan, seperti gas dan zat mudah menguap lainnya. Batubara *Bituminous* dengan kadar *Volatile Matter* dalam kisaran ini umumnya memiliki nilai kalori yang baik dan sering digunakan untuk pembangkit listrik dan industri yang memerlukan bahan bakar dengan proses pembakaran yang efisien (Crundwell, 2011).

Tinggi rendahnya *Volatile Matter* (VM) pada batubara dipengaruhi oleh tingkat *coalification*, di mana batubara dengan *coalification* yang lebih tinggi memiliki kadar *Volatile Matter* yang lebih rendah, karena lebih banyak komponen volatil yang terlepas selama proses pematangan. Komposisi organik batubara juga memengaruhi kadar *Volatile Matter*, di mana batubara dengan lebih banyak komponen organik seperti selulosa dan lignin cenderung memiliki kadar *Volatile Matter* lebih tinggi. Selain itu, pengolahan dan asal usul batubara juga dapat mempengaruhi kadar *Volatile Matter*, meskipun faktor *coalification* dan komposisi organik memainkan peran utama (Al-KhribAsh, 2020).

Kondisi lingkungan seperti hujan, suhu, dan paparan udara dapat mempengaruhi nilai volatile matter dalam batubara. Hujan dapat menyebabkan pencucian senyawa organik ringan, sedikit menurunkan volatile matter, sedangkan suhu tinggi dan paparan udara dalam waktu lama dapat mengakibatkan oksidasi, yang juga dapat mengurangi kandungan volatile matter. Hal ini mungkin menjelaskan nilai volatile matter terendah pada sampel 5 (27,5%). Sebaliknya, lingkungan yang lebih kering dan minim oksidasi dapat mempertahankan senyawa volatil dalam batubara, sehingga sampel 4 memiliki nilai tertinggi (28,7%). Faktor-faktor ini mempengaruhi kualitas batubara dalam proses pembakaran dan efisiensinya sebagai bahan bakar (Hidayatulloh et al., 2021).

Hasil Analisis Ash Analysis

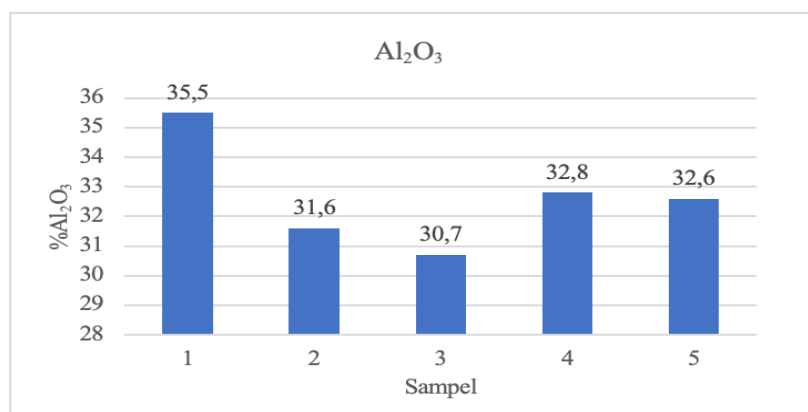
Berikut adalah hasil analisis *Ash Analysis*:



Gambar 4. Hasil Analisis Ash Analysis Kadar SiO₂

Berdasarkan Gambar 4. diperoleh hasil *Ash Analysis* Kadar SiO₂ berkisar 48,7% sampai dengan 55,0% hal ini menunjukkan *Ash Analysis* batubara tersebut mengandung kandungan silika yang cukup tinggi dalam abu yang tertinggal setelah pembakaran. Silika adalah salah satu komponen utama dalam abu batubara dan umumnya terdiri dari mineral seperti kuarsa.

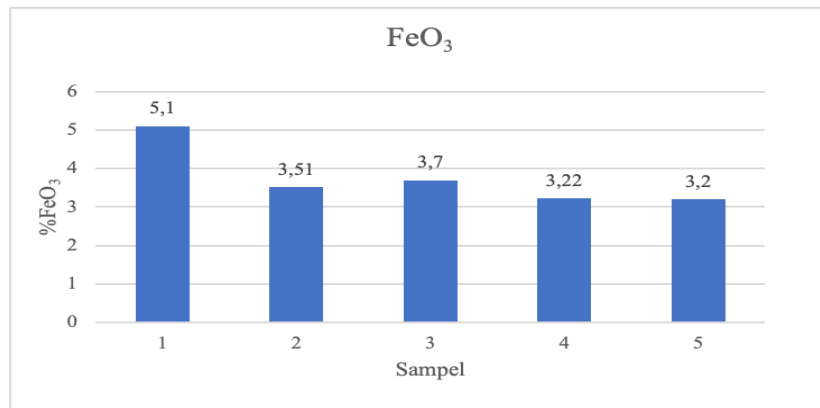
Angka ini mengindikasikan bahwa batubara tersebut memiliki kandungan mineral yang tinggi, yang berpotensi mempengaruhi sifat pembakarannya, seperti peningkatan pembentukan slagging atau kerak pada peralatan pembangkit listrik. Silika yang tinggi juga bisa mempengaruhi nilai kalor batubara, karena komponen mineral cenderung tidak terbakar dan hanya menambah berat abu yang tersisa. Kadar SiO₂ ini biasanya ditemukan pada batubara dengan kadar abu yang lebih tinggi (Panji Permana, 2016).



Gambar 5. Hasil Analisis Ash Analysis Kadar Al₂O₃

Berdasarkan Gambar 5 diperoleh hasil *Ash Analysis* Kadar Al_2O_3 berkisar 30,7% sampai dengan 35,5% hal ini menunjukkan bahwa batubara tersebut mengandung kadar alumina yang cukup tinggi dalam abu yang tertinggal setelah pembakaran. Al_2O_3 adalah senyawa oksida aluminium yang merupakan bagian dari mineral seperti kaolinit dan bauksit.

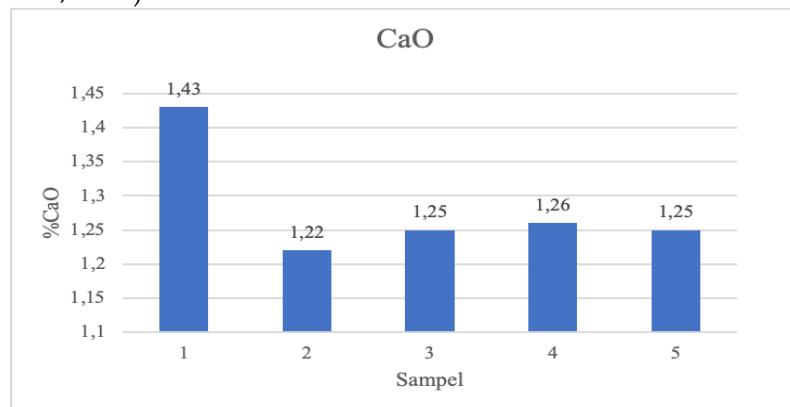
Kandungan Al_2O_3 yang tinggi dalam abu batubara biasanya menunjukkan bahwa batubara tersebut mengandung mineral lempung atau aluminosilikat yang signifikan. Hal ini dapat memengaruhi sifat pembakaran batubara, seperti kecenderungan terbentuknya slagging atau kerak, yang dapat memengaruhi efisiensi pembangkit listrik. Alumina yang tinggi juga dapat mempengaruhi kualitas batubara, karena akan menambah berat abu dan menurunkan nilai kalor efektif dari batubara tersebut (Hernanto et al., 2020).



Gambar 6. Hasil Analisis *Ash Analysis* Kadar FeO_3

Berdasarkan Gambar 6. diperoleh hasil *Ash Analysis* Kadar Fe_2O_3 berkisar 5,1% sampai dengan 3,2% hal ini menunjukkan bahwa batubara tersebut mengandung oksida besi dalam jumlah sedang. Fe_2O_3 adalah senyawa yang terbentuk dari oksidasi besi dan merupakan salah satu komponen utama dalam abu batubara, biasanya berasal dari mineral seperti hematit dan magnetit.

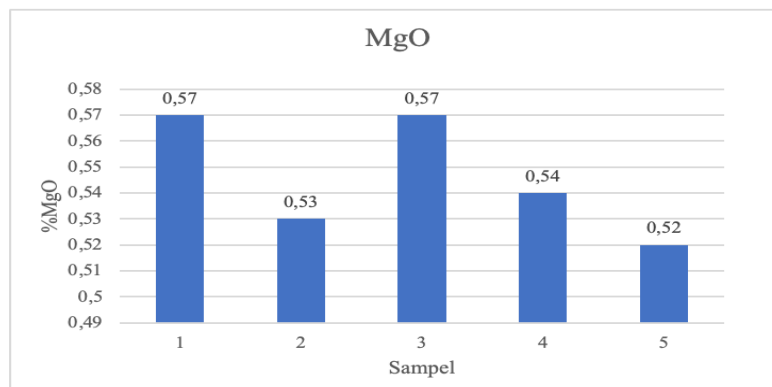
Kandungan Fe_2O_3 yang relatif tinggi dalam abu batubara dapat menunjukkan bahwa batubara tersebut mengandung mineral besi yang cukup signifikan. Oksida besi ini dapat mempengaruhi beberapa sifat pembakaran batubara, seperti meningkatkan kadar abu, yang dapat menurunkan efisiensi pembakaran dan nilai kalor batubara. Selain itu, kandungan Fe_2O_3 juga dapat mempengaruhi sifat fisik abu, seperti kekerasan atau kemampuan mengeras, yang dapat berpotensi menambah masalah dalam pembangkit listrik, seperti terbentuknya slagging atau kerak pada peralatan (Anggreini et al., 2021).



Gambar 7. Hasil Analisis *Ash Analysis* Kadar CaO

Berdasarkan Gambar 7 diperoleh hasil *Ash Analysis* Kadar CaO berkisar 1,43% sampai dengan 1,22% hal ini menunjukkan batubara tersebut mengandung kadar kalsium oksida yang relatif rendah dalam abu yang tertinggal setelah pembakaran. CaO biasanya berasal dari mineral seperti kalsit atau dolomit yang ada dalam batubara.

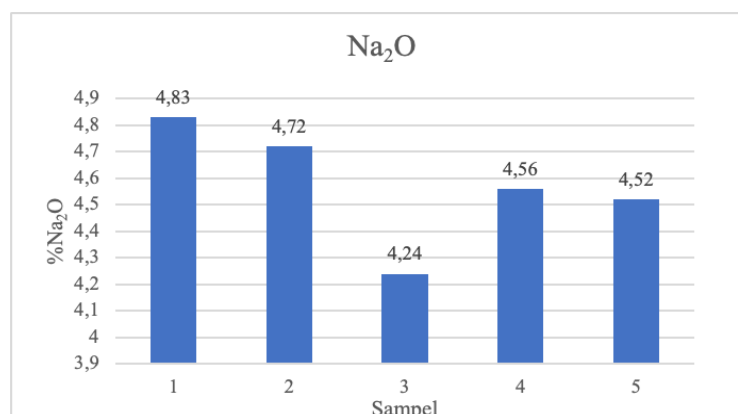
Kandungan CaO yang rendah ini menunjukkan bahwa batubara tersebut tidak mengandung banyak mineral kalsium, yang biasanya berfungsi dalam proses pembersihan gas buang (seperti pengurangan sulfur dioksida) atau dapat berperan dalam pembentukan slagging yang lebih sedikit selama pembakaran. Secara keseluruhan, kadar CaO yang lebih rendah dapat menunjukkan bahwa batubara tersebut cenderung memiliki karakteristik abu yang lebih ringan dan lebih sedikit cenderung membentuk kerak atau endapan di peralatan pembangkit listrik, namun juga bisa berarti batubara ini memiliki potensi yang lebih rendah dalam hal pengendalian emisi gas buang (Dahliar et al., 2024).



Gambar 8. Hasil Analisis *Ash Analysis* Kadar MgO

Berdasarkan Gambar 8. diperoleh hasil *Ash Analysis* Kadar MgO berkisar 0,57% sampai dengan 0,52% hal ini menunjukkan bahwa batubara tersebut mengandung kadar magnesium oksida yang rendah dalam abu yang tertinggal setelah pembakaran. MgO biasanya berasal dari mineral seperti dolomit dan magnesit yang ada dalam batubara.

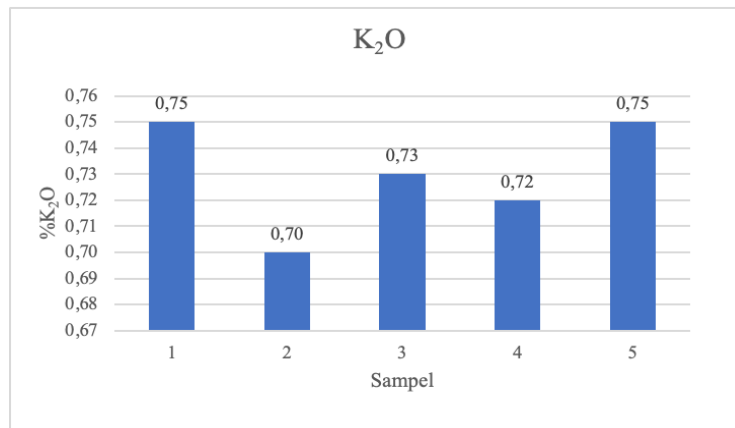
Kandungan MgO yang rendah ini menunjukkan bahwa batubara tersebut memiliki sedikit mineral magnesium. Magnesium oksida memiliki peran dalam mengurangi pembentukan slagging dan korosi pada peralatan pembangkit listrik, serta dapat membantu dalam proses penyerapan sulfur dioksida dalam gas buang. Dengan kadar MgO yang rendah, batubara ini mungkin memiliki kecenderungan lebih tinggi terhadap pembentukan slagging dan kerak selama pembakaran, serta mungkin memiliki potensi yang lebih rendah dalam mengendalikan emisi gas buang. Selain itu, rendahnya kadar MgO juga dapat berpengaruh pada sifat fisik abu batubara, seperti kestabilan dan ketahanan terhadap pelelehan (Anggreini et al., 2021).



Gambar 9. Hasil Analisis *Ash Analysis* Kadar Na₂O

Berdasarkan Gambar 9. diperoleh hasil *Ash Analysis* Kadar Na_2O berkisar 4,24% sampai dengan 4,83% hal ini menunjukkan bahwa batubara tersebut mengandung kadar natrium oksida yang relatif tinggi dalam abu yang tertinggal setelah pembakaran. Na_2O biasanya berasal dari mineral seperti feldspar, halit, atau natron yang ada dalam batubara.

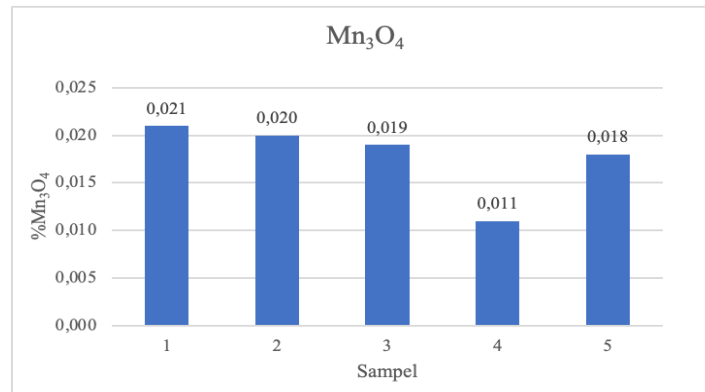
Kandungan Na_2O yang tinggi ini dapat menunjukkan bahwa batubara tersebut mengandung mineral natrium yang signifikan. Natrium oksida memiliki pengaruh terhadap sifat pembakaran batubara, seperti meningkatkan kecenderungan pembentukan slagging atau kerak pada peralatan pembangkit listrik. Selain itu, kadar Na_2O yang tinggi dapat berpotensi menyebabkan masalah dalam pembentukan endapan pada sistem pembakaran karena sifatnya yang dapat berinteraksi dengan komponen lain dalam abu. Di sisi lain, Na_2O juga dapat berperan dalam proses pengendalian emisi gas buang, seperti penyerapan sulfur dioksida, meskipun dengan kadar yang sangat tinggi, potensi masalah slagging dan korosi juga akan meningkat (Hernanto et al., 2020).



Gambar 10. Hasil Analisis *Ash Analysis* Kadar K_2O

Berdasarkan Gambar 10. diperoleh hasil *Ash Analysis* Kadar K_2O berkisar 0,70% sampai dengan 0,75% hal ini menunjukkan bahwa batubara tersebut mengandung kadar kalium oksida yang relatif rendah dalam abu yang tertinggal setelah pembakaran. K_2O biasanya berasal dari mineral seperti feldspar, muskovit, atau kalium silikat yang ada dalam batubara.

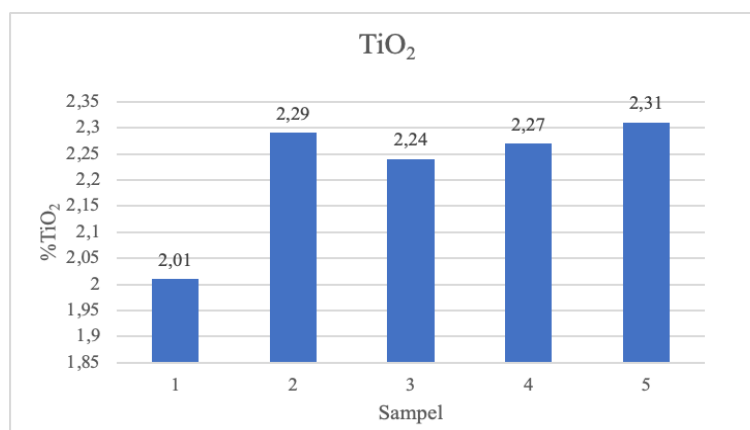
Kandungan K_2O yang rendah ini mengindikasikan bahwa batubara tersebut mengandung sedikit mineral yang mengandung kalium. Kalium oksida dapat memengaruhi pembentukan slagging dan kerak pada peralatan pembangkit listrik selama pembakaran, karena sifatnya yang dapat membentuk senyawa lebur yang mempercepat proses tersebut. Dengan kadar K_2O yang rendah, batubara ini cenderung memiliki potensi lebih rendah dalam membentuk slagging atau endapan selama pembakaran. Namun, ini juga berarti batubara ini memiliki potensi yang lebih rendah dalam hal pengendalian emisi gas buang, karena kalium dapat berfungsi dalam proses pengendalian sulfur dioksida (Panji Permana, 2016).



Gambar 11. Hasil Analisis Ash Analysis Kadar Mn₃O₄

Berdasarkan Gambar 11. diperoleh hasil *Ash Analysis* Kadar Mn₃O₄ berkisar 0,011% sampai dengan 0,021% hal ini menunjukkan bahwa batubara tersebut mengandung kadar oksida mangan yang sangat rendah dalam abu yang tertinggal setelah pembakaran. Mn₃O₄ atau oksida mangan biasanya berasal dari mineral seperti pirolusit atau manganit yang ada dalam batubara.

Kandungan Mn₃O₄ yang rendah ini menunjukkan bahwa batubara tersebut mengandung sedikit mineral mangan. Oksida mangan memiliki sifat katalitik dalam beberapa proses pembakaran dan pengendalian emisi, seperti dalam mengurangi sulfur dioksida (SO₂) dalam gas buang. Dengan kadar Mn₃O₄ yang rendah, batubara ini mungkin memiliki potensi yang lebih rendah dalam mengendalikan emisi gas buang atau dalam memberikan efek katalitik terhadap proses pembakaran. Selain itu, kadar Mn₃O₄ yang rendah juga berarti bahwa batubara ini cenderung menghasilkan abu yang lebih ringan dan memiliki potensi yang lebih kecil untuk mempengaruhi sifat fisik abu, seperti ketahanan terhadap pelelehan atau pembentukan kerak (Hernanto et al., 2020).

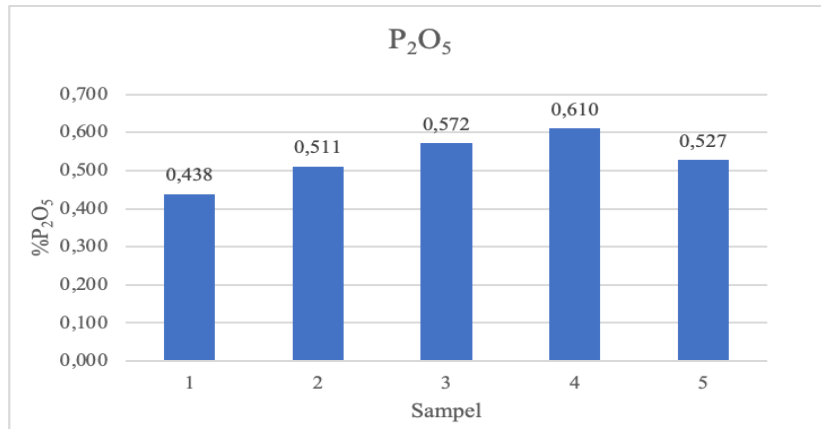


Gambar 12. Hasil Analisis Ash Analysis Kadar TiO₂

Berdasarkan Gambar 12. diperoleh hasil *Ash Analysis* Kadar TiO₂ berkisar 2,01% sampai dengan 2,31% hal ini menunjukkan bahwa batubara tersebut mengandung kadar titanium oksida yang relatif rendah hingga moderat dalam abu yang tertinggal setelah pembakaran. TiO₂ umumnya berasal dari mineral seperti ilmenit atau rutil yang ada dalam batubara.

Kandungan TiO₂ yang cukup signifikan ini menunjukkan bahwa batubara tersebut mengandung mineral titanium, yang dapat mempengaruhi beberapa sifat fisik dan kimia abu batubara. Titanium oksida memiliki sifat stabil dan tidak mudah bereaksi pada suhu tinggi, sehingga dapat berperan dalam meningkatkan ketahanan abu terhadap pelelehan dan pembentukan kerak (slagging) selama pembakaran. Selain itu,

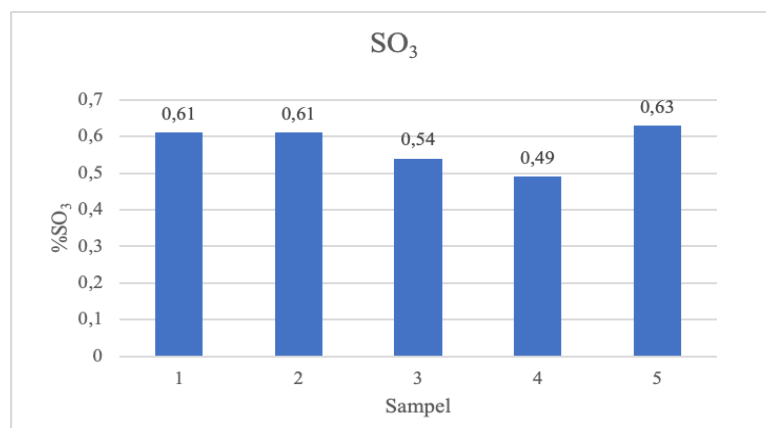
TiO₂ juga dapat mempengaruhi proses pengolahan abu dan kualitas material residu yang dihasilkan. Dengan kadar TiO₂ di kisaran ini, batubara cenderung memiliki potensi untuk menghasilkan abu yang lebih stabil dengan ketahanan yang baik terhadap suhu tinggi (Anggreini et al., 2021).



Gambar 13. Hasil Analisis Ash Analysis Kadar P₂O₅

Berdasarkan Gambar 13. diperoleh hasil *Ash Analysis* Kadar P₂O₅ berkisar 0,438% sampai dengan 0,610% hal ini menunjukkan bahwa batubara tersebut mengandung kadar fosfor oksida yang rendah hingga moderat dalam abu yang tertinggal setelah pembakaran. P₂O₅ umumnya berasal dari mineral fosfat yang ada dalam batubara.

Kandungan P₂O₅ yang relatif rendah ini menunjukkan bahwa batubara tersebut tidak mengandung banyak mineral fosfat. Fosfor oksida dalam abu batubara dapat berpengaruh terhadap beberapa aspek pembakaran dan pengolahan, seperti meningkatkan pembentukan korosi pada peralatan pembangkit listrik, karena fosfor dapat membentuk senyawa yang bersifat korosif pada suhu tinggi. Dengan kadar P₂O₅ yang berada dalam kisaran ini, batubara ini cenderung memiliki potensi yang lebih rendah dalam menyebabkan masalah korosi atau degradasi peralatan. Selain itu, kadar P₂O₅ yang rendah juga menunjukkan bahwa batubara ini mungkin memiliki sedikit pengaruh terhadap proses pengolahan gas buang, seperti pengendalian emisi fosfor (Hernanto et al., 2020).



Gambar 14. Hasil Analisis Ash Analysis Kadar SO₃

Berdasarkan Gambar 14. diperoleh hasil *Ash Analysis* Kadar SO₃ berkisar 0,49% sampai dengan 0,63% hal ini menunjukkan bahwa batubara tersebut mengandung kadar sulfur oksida yang moderat dalam abu yang tertinggal setelah pembakaran. SO₃ berasal dari sulfur yang terkandung dalam batubara, yang bereaksi dengan oksigen selama pembakaran untuk membentuk sulfur trioksida.

Kandungan SO_3 yang ada menunjukkan bahwa batubara ini memiliki kadar sulfur yang cukup signifikan, yang dapat berdampak pada pembentukan sulfur dioksida (SO_2) selama pembakaran. SO_2 adalah gas yang dapat menyebabkan polusi udara dan asam rain, yang dapat merusak lingkungan dan peralatan pembangkit listrik. Oleh karena itu, kadar SO_3 yang lebih tinggi ini menunjukkan potensi emisi sulfur yang lebih besar dan mengindikasikan kebutuhan untuk teknologi pengendalian emisi, seperti desulfurisasi gas buang, untuk mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan. Kadar SO_3 yang moderat juga dapat mempengaruhi pengolahan abu dan kualitas residu yang dihasilkan (Anggreini et al., 2021).

Kadar yang dominan pada hasil *Ash Analysis* adalah kadar SiO_2 dan Al_2O_3 , jika dibandingkan dengan penelitian Hidayatulloh et al., (2021) yang memperoleh Kadar logam magnetik yang paling dominan adalah logam Fe sebesar 8,28%, kemudian logam Al sebesar 4,15%, logam Mn sebesar 2,06% dan logam Cu sebesar 0,0027%.

Keterbatasan dalam dalam penelitian ini disebabkan beberapa faktor antara lain terbatasnya sumber data atau referensi yang digunakan, serta variasi dalam metode dan peralatan yang digunakan dalam pengujian. Beberapa studi atau sumber yang tidak menyediakan informasi yang komprehensif mengenai semua komponen abu, atau hanya berfokus pada sebagian kecil parameter yang relevan. Selain itu, metode analisis yang berbeda atau standar pengujian yang bervariasi antar laboratorium dapat menghasilkan hasil yang tidak sepenuhnya konsisten mengakibatkan sulitnya diperoleh pembandingan antara penelitian ini dan penelitian sebelumnya. Keterbatasan lainnya dipengaruhi oleh faktor eksternal seperti kualitas sampel yang diambil, ketepatan dalam penanganan sampel, serta kondisi lingkungan yang dapat memengaruhi hasil pengujian.

Kondisi lingkungan seperti hujan, aliran air, suhu, dan paparan udara dapat mempengaruhi hasil *ash analysis*. Hujan dan aliran air dapat melarutkan atau membawa mineral tertentu, menyebabkan variasi dalam komposisi abu batubara (Kadir et al., 2017). Paparan udara dan oksidasi dapat mengubah senyawa mineral seperti Fe_2O_3 dan CaO , yang dapat meningkatkan atau menurunkan kadar unsur dalam abu. Suhu dan kelembaban juga dapat mempengaruhi stabilitas mineral dalam abu, terutama senyawa yang mudah bereaksi dengan air atau udara. Faktor-faktor ini menyebabkan perbedaan dalam kadar SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , dan mineral lainnya dalam *ash analysis* (Hidayatulloh et al., 2021).

SIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis, nilai rata-rata *Inherent Moisture* sebesar 9,92%, *Total Moisture* 1,3%, *Ash* 4,8%, dan *Volatile Matter* 28,08% menunjukkan bahwa sampel 1, 2, 3, 4, dan 5 termasuk dalam spesifikasi batubara jenis bituminous. Hasil *Ash Analysis* menunjukkan kadar SiO_2 53,04%, Al_2O_3 32,64%, Fe_2O_3 3,75%, CaO 1,28%, MgO 0,55%, Na_2O 4,57%, K_2O 0,73%, Mn_3O_4 0,02%, TiO_2 2,22%, P_2O_5 0,53%, dan SO_3 0,58%, dengan komponen dominan adalah SiO_2 dan Al_2O_3 .

Implikasi penelitian ini menunjukkan bahwa batubara dari Site Lampunut memiliki kualitas yang baik untuk pembangkit listrik dan industri semen karena kadar air dan abu yang rendah serta kadar *Volatile Matter* yang cukup tinggi, yang mendukung efisiensi pembakaran. Selain itu, komposisi abu yang didominasi oleh SiO_2 dan Al_2O_3 membuka peluang pemanfaatan abu sisa pembakaran sebagai bahan tambahan dalam produksi semen, beton, dan material konstruksi lainnya, sehingga dapat mendukung prinsip ekonomi sirkular.

Untuk penelitian selanjutnya, disarankan untuk melakukan analisis lebih lanjut terhadap kandungan logam berat dalam abu batubara, seperti Pb, Cd, dan Hg, yang berpotensi mencemari lingkungan. Selain itu, perlu dilakukan pengujian sifat fisik abu, seperti ukuran partikel dan titik leleh, untuk memahami potensi masalah *slagging* dan *fouling* selama pembakaran. Penelitian terkait pengaruh proses desulfurisasi dan demineralisasi terhadap kualitas batubara juga dapat memberikan informasi tambahan untuk memaksimalkan efisiensi dan mengurangi dampak lingkungan.

DAFTAR PUSTAKA

- Al-Khirbash. (2020). *Genesis and Mineralogical Classification of Ni-Laterites Oman Mountains*. 199-212.
- Anggreini, D., Bahtiar, S., Widyawati, F., & Hidayat, S. (2021). Analisis Hubungan Kandungan Total Moisture, Total Sulphur dan Ash Content Terhadap Gross Calorific Value pada Batubara. *Jurnal TAMBORA*, 5(3), 50-55. <https://doi.org/10.36761/jt.v5i3.1316>
- Arifin. (2022). Pengawetan Kayu Sengon (*Paraserianthes falcataria* (L) Nielsen) Menggunakan Oli Bekas dengan Metode Perendaman Dingin. *Jurnal Hutan Tropis* Vol.6 No 1.
- Crundwell, F. K., Moats, M. S., Ramachandran, V., Robinson, T., & G., & Davenport, W. G. (2011). *Extractive Metallurgy of Nickel, Cobalt, and Platinum-Group Metals*.
- Dahliar, N., Widodo, S., & Tonggiroh, A. (2024). Pengaruh Komposisi Ash Batubara terhadap Kualitas Klinker Portland Cement pada PT. Semen Tonasa Unit III. *Geosains*, 10(02), 58-67.
- Doli Jumat Rianto. (2022). Analisis Pengaruh Kadar Air (*Total Moisture*) Batubara Terhadap Nilai Kalori Batubara di Front Penambangan. *Formosa Journal of Multidisciplinary Research*, 1(2), 257-268. <https://doi.org/10.55927/fjmr.v1i2.582>
- Febriana. (2020). *Effect of Sulfur Addition to Nickel Recovery of Laterite Ore*. *Jurnal Kimia Sains Dan Aplikasi*, 14-20.
- Hernanto, A., Pitulima, J., & Andini, D. E. (2020). Analisis Pengaruh Perubahan Nilai *Total Moisture* dan *Ash Content* terhadap Nilai Kalori Batubara Di Unit Pelabuhan Pt Bukit Asam Tbk Tarahan Bandar Lampung. *Mineral*, 5(1), 7-12. <https://doi.org/10.33019/mineral.v5i1.3053>
- Hidayatulloh, A., Taslimah, & Haris, A. (2021). *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi Penentuan Kandungan Logam Magnetik Komponen Penyusun Abu*. 14(1), 1-3.
- Kadir, A. R., Widodo, S., & Anshariah, A. (2017). Analisis Proksimat Terhadap Kualitas Batubara Di Kecamatan Tanah Grogot Kabupaten Paser Provinsi Kalimantan Timur. *Jurnal Geomine*, 5(2), 63-67. <https://doi.org/10.33536/jg.v5i2.128>
- Lolo, A., Patandean, C. F., & Ruslan, E. (2020). Karakterisasi Air Daerah Panas Bumi Pencong Dengan Metode Aas (Atomic Absorption Spectrophotometer) Di Kecamatan Biringbulu, Kabupaten Gowa Propinsi Sulawesi Selatan. *Jurnal Geocelebes*, 4(2), 102-110. <https://doi.org/10.20956/geocelebes.v4i2.8928>
- Nur, Z., Oktavia, M., & Desmawita. (2019). Analisis Kualitas Batubara Di Pit Dan Stockpile Dengan Metoda Analisis Proksimat di PT. Surya Anugrah Sejahtera Kecamatan Rantau Pandan Kabupaten Bungo Provinsi Jambi. *Mine Magazine*, 7(1), 283.

- Nurul, B., & Kambuna, H. (2018). Pengujian Pengaruh Temperatur dan Waktu Pemanasan Terhadap Nilai Indeks Shatter Pelet Debu Pabrik Feronikel. *IV(2)*, 63–67.
- Panji Permana, A. (2016). Kajian *Coal Rank* Berdasarkan Analisis *Proximate* (Studi Kasus Batubara di Kabupaten Sorong). *Jurnal Teknik*, *14(2)*, 123–131.
- Putri, R. Z., & Fadhillah. (2020). Peningkatan Kualitas Batubara Low Calorie Menggunakan Minyak Pelumas Bekas Melalui Proses Upgrading Brown Coal. *Jurnal Bina Tambang*, *5(2)*, 208–217. <http://ejournal.unp.ac.id/index.php/mining/article/view/108004>
- Sugianto, F. I., Andy, R., Wijaya, E., Putra, B. P., Studi, P., Pertambangan, T., Teknologi, F., & Babarsari, J. (2020). *Quality Control* Batubara Dari Channel-Pit Menuju Stockpile PT. Kuasing Inti Makmur. *Mining Insight*, *01(01)*, 43–52.
- Suri, T. M., Sair, A., & Yusuf, S. (2021). Sejarah Penambangan Batubara Bukit Asam di Tanjung Enim. *HISTORIA: Jurnal Program Studi Pendidikan Sejarah*, *9(1)*, 87. <https://doi.org/10.24127/hj.v9i1.2672>
- Wahab, W., Deniyatno, D., Ismayanti, W., & Supriatna, Y. I. (2021). Pengaruh Variabel Pelindian Terhadap Ekstraksi Nikel Dalam Pelindian Bijih Nikel Laterit. *JST (Jurnal Sains Dan Teknologi)*, *10(2)*, 127–134. <https://doi.org/10.23887/jstundiksha.v10i2.33125>
- Wahyuni, I. P., Amir, A., & Nurjanah, R. (2020). Hubungan Kausalitas Ekspor Batubara dengan Pertumbuhan Ekonomi Provinsi Jambi. *E-Journal Perdagangan Industri Dan Moneter*, *8(1)*, 23–30. <https://doi.org/10.22437/pim.v8i1.7617>
- Yuwanto, S. H., Syah, A., & Bahar, H. (2024). Analisis Proksimat untuk Menentukan Jenis dan Kualitas Batubara. *Senastitan Iv*.
- Zakwan, H., & Prabowo, H. (2021). Pengendalian Kualitas Batubara Seam 300 Berdasarkan Parameter Kualitas Batubara dari Front Sampai ke Buyer di PT Kuasing Inti Makmu, Job Site Tanjung Belit, Bungo, Jambi. *Jurnal Bina Tambang*, *6(5)*, 68–76.