



Potensi pengaruh batuan andesit terhadap peningkatan sulfur di batubara sektor andesit pt asmin bara bronang daerah kabupaten kapuas kalimantan tengah

Akhmad Yudi PN.^{1*}, Marlon Ivanhoe A.², Revia Oktaviani³, Harjuni Hasan⁴, Yunianto Setiawan⁵, Henny Pagoray⁶

^{1,2,3,4,5,6}Universitas Mulawarman, Samarinda, Indonesia

*Corresponding e-mail: marlon.ivanhoe@gmail.com

Email: revia.oktaviani@gmail.com

Abstract

The purpose of this study is to examine how the intrusion of andesite rock affects the total sulfur (TS) content in coal in the Kapuas area, Central Kalimantan, particularly at the PT Asmin Bara Bronang mining site. The geochemical quality of coal can be influenced by andesite intrusion through changes in temperature, pressure, and hydrothermal reactions. These hydrothermal reactions lead to the formation of secondary sulfur minerals such as pyrite (FeS₂). For this study, coal samples were taken from areas intruded by andesite and non-andesite. Then, the samples were evaluated proximately according to the ASTM D3172-13 standard. The analysis of 1,274 data points shows that the sulfur content in the andesite area is 0.569%, which is higher than the 0.540% found in the non-andesite area, with a difference of 0.028% and a p-value of 0.0167 (less than 0.05), meaning the difference is statistically significant. The hydrothermal alteration process, which increases the concentration of sulfur in coal, is suspected to cause the increased distribution of sulfur in the andesite region. The findings are supported by visual representations and boxplots, which display a broader range of sulfur values and a higher occurrence in the subseam within the andesite area. This study found that andesite intrusion increases the sulfur content of coal. This effect impacts combustion quality, the potential formation of acid mine drainage (AMD), and a sustainable mining management approach. Variations between sub-seams influenced by fractures, rock permeability, and fluid pathways in the area necessitate local evaluation.

Keywords : coal; total sulfur; andesite; igneous rock intrusion; hydrothermal alteration; geochemical quality.

Abstrak

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk melihat bagaimana intrusi batuan andesit berdampak pada kandungan total sulfur (TS) dalam batubara di daerah Kapuas, Kalimantan Tengah, terutama di lokasi pertambangan PT Asmin Bara Bronang. Kualitas geokimia batubara dapat dipengaruhi oleh intrusi andesit melalui perubahan suhu, tekanan, dan reaksi hidrotermal. Reaksi hidrotermal ini menyebabkan pembentukan mineral sulfur sekunder seperti pirit (FeS₂). Untuk penelitian ini, sampel batubara diambil dari area yang terintrusi andesit dan *non* andesit. Kemudian, sampel dievaluasi secara proksimat sesuai standar ASTM D3172-13. Hasil analisis statistik terhadap 1.274 data menunjukkan bahwa kandungan sulfur di area andesit (0,569%) lebih tinggi dibandingkan dengan area non-andesit (0,540%), dengan perbedaan 0,028% dan nilai *p-value* 0,0167 (<0,05), yang menunjukkan perbedaan signifikan secara statistik. Proses alterasi hidrotermal, yang meningkatkan konsentrasi sulfur dalam batubara, diduga menyebabkan peningkatan distribusi sulfur di wilayah andesit. Hasil ini diperkuat oleh visualisasi distribusi dan boxplot, yang menunjukkan sebaran nilai sulfur yang lebih luas dan frekuensi yang lebih tinggi pada subseam di zona andesit. Studi ini menemukan bahwa intrusi andesit meningkatkan kandungan sulfur batubara. Ini berdampak pada kualitas pembakaran, kemungkinan pembentukan air asam tambang (AAT), dan pendekatan pengelolaan tambang yang berkelanjutan. Variasi antar-subseam yang dipengaruhi oleh retakan, permeabilitas batuan, dan jalur fluida di daerah tersebut membuat evaluasi lokal diperlukan.

Kata Kunci : batubara; sulfur total; andesit; intrusi batuan beku; perubahan hidrotermal; kualitas geokimia.

PENDAHULUAN

Dengan banyaknya sumber daya alam seperti batubara yang tersedia di Kalimantan Tengah, industri pertambangan batubara muncul sebagai akibat dari potensi energi yang besar. Oleh karena itu, area yang dieksplorasi untuk pertambangan batubara semakin besar. Karena harganya yang relatif murah dibandingkan dengan minyak dan gas bumi, batubara telah menjadi salah satu sumber energi utama sejak lama. Selain itu, ada permintaan global yang tinggi untuk batubara dari Indonesia, yang ditunjukkan oleh peningkatan tajam dalam produksinya.

Sifat fisika dan kimia batubara yang mempengaruhi kegunaannya dikenal sebagai kualitas batubara. Salah satu faktor yang sangat penting dalam penggunaan batubara sebagai bahan bakar adalah jumlah sulfur yang terkandung dalam batubara dimana jenis sulfur yang terkandung dalam batubara termasuk mineral sulfat, mineral sulfida, dan sulfur organik. Andesit adalah batuan beku yang umum ditemukan di daerah yang terbentuk oleh letusan vulkanik dan memiliki berbagai jenis mineral. Interaksi dengan batubara dapat dipengaruhi oleh komposisi kimia andesit, yang mengandung silika (SiO₂) dan mineral-mineral seperti plagioclase feldspar. Ini terutama berlaku untuk pengendapan dan pematangan batubara di sekitarnya. Pengaruh batuan andesit terhadap kualitas sulfur batubara memiliki beberapa aspek penting yang perlu diperhatikan, terutama dalam hal dampak geologis dan lingkungan.



Penelitian tentang andesit dan kualitas sulfur batubara diharapkan dapat memberikan kontribusi yang signifikan untuk ilmu geologi dan praktik pertambangan berkelanjutan. Sifat-sifat pembakaran batubara seperti slagging dan korosi pada peralatan pembangkit listrik dipengaruhi oleh kandungan sulfur. Sulfur anorganik dalam bentuk mineral pirit dan markasit dapat menghasilkan produk sampingan yang merusak selama proses pembakaran, sehingga kadar sulfur total sangat penting bagi setiap pembeli batubara.

Studi ini menyelidiki bagaimana intrusi andesit berdampak pada kualitas batubara di Kapuas, Kalimantan Tengah tepatnya di PT Asmin Bara Bronang area Sektor Andesit. Analisis total sulfur digunakan dalam penelitian ini untuk menentukan peringkat batubara. Hasilnya menunjukkan bahwa, karena dapur magma andesit basaltik berada di kedalaman yang relatif dangkal dan sifat magma yang encer pada suhu yang rendah (100 °C-150 °C), intrusi andesit memengaruhi proses pematangan batubara. Karakteristik geo-kimia batubara di wilayah penelitian ini menunjukkan bahwa variasi nilai sulfur batubara menunjukkan perubahan kondisi lingkungan pengendapan, seperti fase transgresi dan regresi yang berlangsung selama pengendapan batubara.

Struktur batubara dapat dipengaruhi oleh intrusi andesit melalui berbagai mekanisme geologis yang kompleks, antara lain:

1. Proses Diagenesa dan Panas Temperatur, Jika intrusi andesit dilakukan, panas yang dikeluarkan oleh batubara dapat meningkatkan suhu di sekitar batubara.
 2. Perubahan Kondisi Alam, dengan adanya intrusi andesit, kondisi lingkungan sekitar batubara dapat berubah, seperti perubahan pH dan konsentrasi ion-ion. Ini dapat mempengaruhi proses diagenesa batubara.
 3. Pengaruh Terhadap Mineralogi Batubara, proporsi maceral-maceral dapat dipengaruhi oleh interaksi antara intrusi andesit dan mineralogi batubara.
 4. Sifat Geologis, Faktor geologi eksternal seperti intrusi batuan beku dapat meningkatkan tekanan pada batubara.
- Struktur geologi seperti antiklin atau sesar juga dapat mempengaruhi kondisi batubara. Struktur batubara secara signifikan dipengaruhi oleh intrusi andesit dalam hal peringkat atau kandungan sulfur. Faktor-faktor seperti kedalaman dapur magma, sifat magma, dan kondisi lingkungan lokal lebih penting daripada yang lain.

Tinjauan literatur yang telah dijelaskan menunjukkan bahwa intrusi andesit dapat memengaruhi kualitas sulfur batubara secara signifikan. Oleh karena itu, penelitian lebih lanjut diperlukan untuk memahami hubungan yang kompleks antara intrusi andesit dan kualitas sulfur batubara.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode deskriptif kuantitatif dengan pendekatan analisis data geologi dan kualitas batubara. Penelitian dilakukan melalui pengumpulan data hasil pemboran eksplorasi, pemboran lanjutan, pengambilan sampel batubara, analisis laboratorium, serta pemodelan penyebaran lapisan dan kualitas batubara. Pendekatan ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik kualitas batubara pada area penelitian dan menganalisis hubungan spasial antara kandungan sulfur total (total sulphur) dan penyebaran batuan andesit.

Pengumpulan data dilakukan melalui kegiatan pemboran eksplorasi dan pemboran lanjutan untuk memperoleh informasi mengenai kondisi geologi bawah permukaan, ketebalan dan kedalaman lapisan batubara, serta keberadaan batuan pengapit dan batuan andesit. Data hasil pemboran kemudian digunakan untuk menyusun model geologi yang menggambarkan penyebaran lapisan batubara dan batuan andesit pada area penelitian. Model tersebut diperbarui secara berkala menggunakan data tambahan dari kegiatan pengambilan sampel batubara di lapangan.

Pengambilan sampel batubara dilakukan dengan metode channel sampling pada setiap lapisan batubara yang teridentifikasi. Pengambilan sampel direncanakan dengan kerapatan satu sampel per hektare untuk setiap lapisan batubara, dengan tetap mempertimbangkan variasi geologi dan kondisi lapangan. Sampel diambil dengan memperhatikan batas lapisan agar material yang diperoleh dapat mewakili karakteristik batubara pada interval yang diteliti. Data hasil pengambilan sampel selanjutnya digunakan untuk memperbarui model kualitas batubara dan mengevaluasi distribusi kualitas pada area penelitian.

Sampel yang diperoleh kemudian dipreparasi sebelum dianalisis di laboratorium. Preparasi dilakukan melalui tahapan pengecilan ukuran, homogenisasi, dan pembagian sampel sesuai dengan kebutuhan pengujian. Analisis kualitas batubara dilakukan menggunakan analisis proksimat dengan mengacu pada ASTM D3172-13 (2013). Parameter yang dianalisis meliputi kadar abu (ash yield), kadar lengas (moisture), kadar zat terbang (volatile matter), dan karbon tertambat (fixed carbon). Selain itu, dilakukan analisis sulfur total (total sulphur) menggunakan metode pengujian sulfur yang sesuai, seperti ASTM D4239. Hasil analisis laboratorium dicatat dan diintegrasikan dengan data pemboran berdasarkan identitas sampel, lokasi, dan lapisan batubara asalnya.

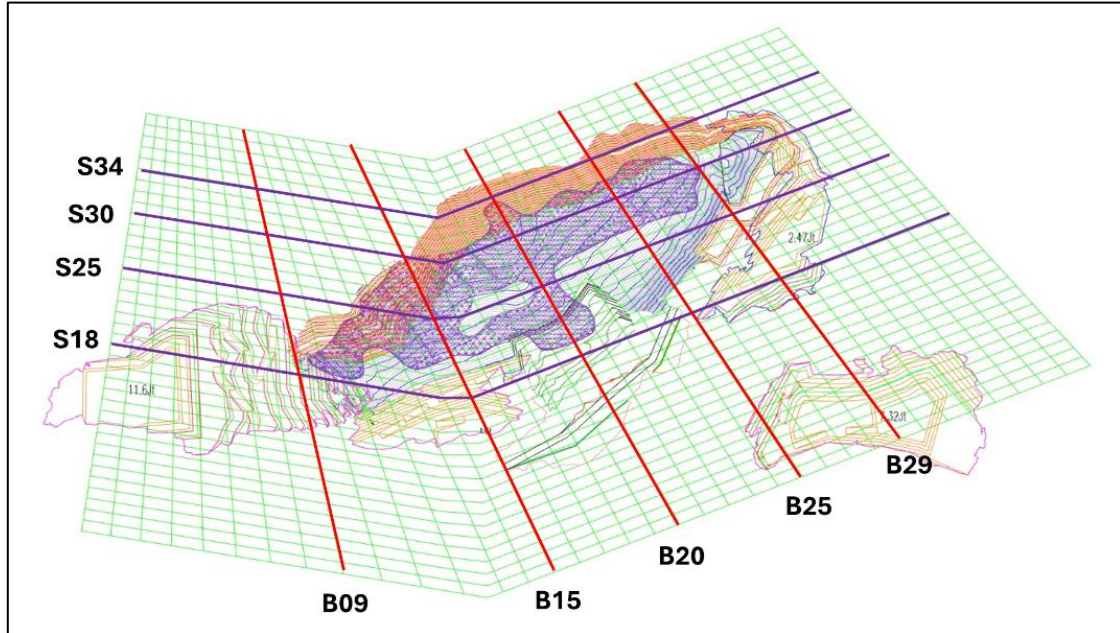
Tahap berikutnya adalah pemodelan distribusi kualitas batubara berdasarkan hasil analisis laboratorium dan data geologi. Pemodelan dilakukan untuk setiap parameter kualitas, yaitu kadar abu, kadar lengas, zat terbang, karbon tertambat, dan sulfur total. Hasil pemodelan digunakan untuk menggambarkan variasi kualitas batubara secara lateral maupun vertikal pada lapisan yang diteliti. Secara khusus, model distribusi sulfur total kemudian dikorelasikan dengan model penyebaran batuan andesit untuk mengetahui pola hubungan spasial antara kedua variabel tersebut.

Analisis akhir dilakukan dengan membandingkan pola penyebaran sulfur total terhadap posisi dan distribusi batuan andesit. Interpretasi dilakukan berdasarkan kedekatan spasial, variasi nilai sulfur, serta kondisi geologi yang ditemukan pada area penelitian. Hasil analisis digunakan untuk menilai kemungkinan keterkaitan antara keberadaan batuan andesit dan variasi kandungan sulfur pada batubara. Hubungan tersebut tidak langsung dianggap sebagai hubungan sebab-akibat, tetapi dievaluasi berdasarkan kesesuaian data geologi dan hasil pengujian laboratorium. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan menghasilkan gambaran mengenai distribusi kualitas batubara serta hubungan spasial antara kandungan sulfur total dan penyebaran batuan andesit di area penelitian.

HASIL PENELITIAN

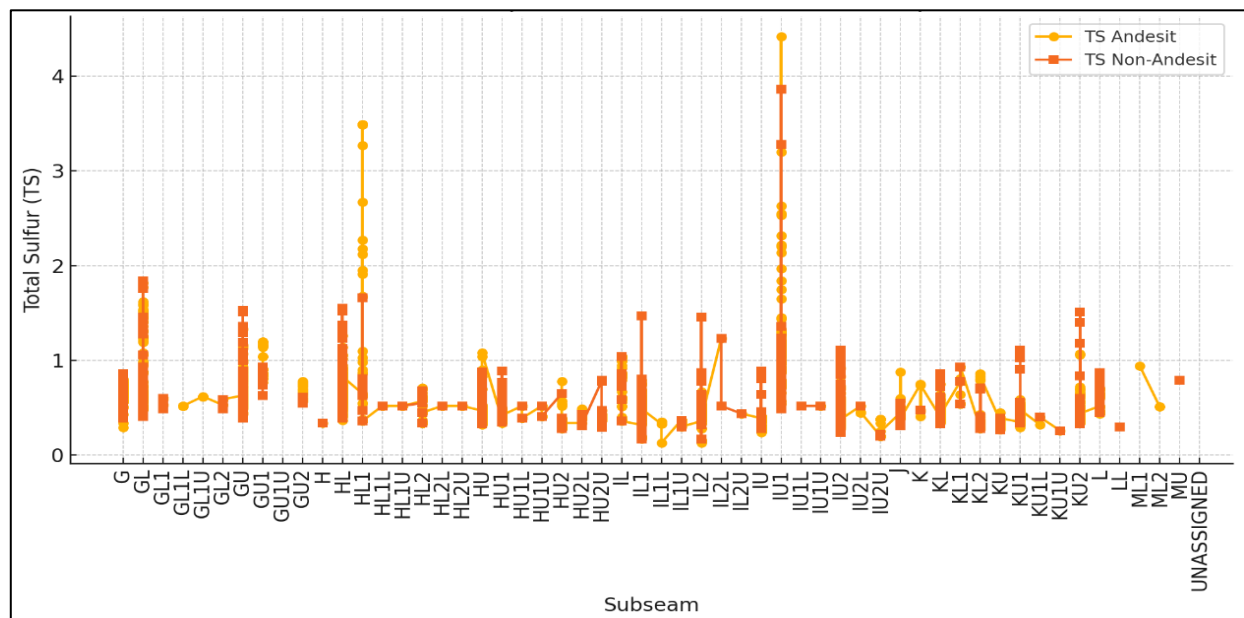
Kandungan sulfur batubara adalah salah satu faktor penting yang menentukan kualitas batubara dalam industri pertambangan. Kandungan sulfur yang tinggi dalam batubara dapat menyebabkan emisi sulfur dioksida (SO_2) yang lebih tinggi selama pembakaran, yang dapat menyebabkan pencemaran lingkungan dan berpotensi melanggar peraturan. Oleh karena itu, memahami distribusi dan bagaimana faktor geologi mempengaruhi kandungan sulfur sangat penting.

Kandungan total sulfur (TS) diukur pada area yang dipengaruhi oleh intrusi andesit dan area *Non*-andesit yang tersebar di beberapa *Subseam*. Gambar 1 menunjukkan pasangan data Total Sulfur Andesit dan Total Sulfur *Non*-Andesit yang memungkinkan analisis statistik berpasangan.



Gambar 1. Blok Area Penyebaran Andesit di Pit Area Penelitian

Hasil dari Analisis Pengaruh Sulfur Pada andesit dan *Non*-andesit ditunjukkan pada Gambar 2, yang merupakan hasil dari analisis statistik yang dilakukan menggunakan Microsoft Excel berdasarkan data distribusi cadangan batubara dari awal Januari 2020 hingga Life of Mine. Analisis statistik ini dilakukan berdasarkan data distribusi cadangan batubara dari awal Januari 2020 (sumber : data reserve batubara progres topografi awal januari 2020 sampai *Life of Mine*).



Gambar 2. Grafik Distribusi Total Sulfur pada Andesit dan *Non* Andesit per *Subseam*

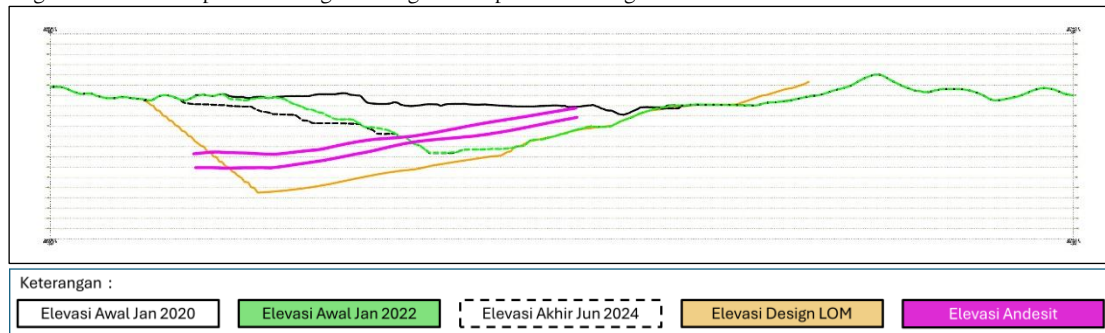
Gambar distribusi total sulfur menunjukkan perbandingan kadar sulfur pada setiap *Subseam* antara dua kondisi geologi. Total Sulfur Andesit (dengan intrusi batuan andesit) ditampilkan sebagai garis bulat, sedangkan Total Sulfur *Non*-Andesit (tanpa intrusi batuan andesit) ditampilkan sebagai garis persegi.

Isi Grafik pada Gambar 2 dan Interpretasi yang diperoleh :

- I. Sumbu X (horizontal) menunjukkan nama sub-seam. Setiap *Subseam* menunjukkan lokasi pengambilan sampel dengan dua nilai sulfur: satu di wilayah Andesit dan satu di wilayah *Non*-Andesit.

2. Sumbu Y (vertikal) menunjukkan nilai total sulfur (TS) dalam satuan persen.
3. Pada grafik, setiap garis dan titik menghubungkan dua titik untuk setiap sub-seam. Sebuah titik kuning, misalnya, menunjukkan nilai Total Sulfur di area Andesit, dan sebuah titik oranye menunjukkan nilai Total Sulfur di area *Non-Andesit*. Jarak vertikal antara titik menunjukkan perbedaan kadar sulfur yang signifikan di masing-masing sub-seam.
4. Pola Umum: a) Titik Total Sulfur Andesit di atas Total Sulfur *Non-Andesit* menunjukkan sulfur lebih tinggi di area yang mengalami intrusi andesit; b) Sebaliknya, titik Total Sulfur Andesit lebih rendah menunjukkan bahwa intrusi andesit tidak menyebabkan sulfur meningkat di lokasi tersebut.
5. Hasil analisis grafik: Banyak *subseam* menunjukkan Total Sulfur Andesit yang lebih tinggi, mendukung temuan uji statistik yang menunjukkan bahwa intrusi andesit cenderung meningkatkan sulfur.

Sub-seam HLI dan IUI, yang memiliki perbedaan sulfur yang signifikan, adalah contoh anomali yang jelas. Nilai total sulfur (TS) berdasarkan *Subseam* ditunjukkan di grafik ini. Nilai-nilai ini dibedakan antara data yang mengandung intrusi andesit (TS Andesit) dan *Non-andesit* (TS *Non-Andesit*). Sebuah titik dengan nilai yang sangat tinggi (lebih dari 2% Total Sulfur) diidentifikasi sebagai outlier yang signifikan. Penampang batubara, andesit peta geologi, dan potensi alterasi batuan adalah bukti bahwa data grafik tersebut dapat dihubungkan dengan Interpretasi Geologi Gambar 3.



Gambar 3. Penampang penyebaran batubara dan batuan andesit

Secara visual, subseam andesit terpengaruh HLI, IUI, dan GU2 menunjukkan nilai Total Sulfur yang lebih tinggi di area andesit. Ini dapat dilihat dari data penampang dan grafik. Jika dibandingkan dengan zona non-andesit, zona andesit memiliki frekuensi nilai sulfur yang lebih tinggi. Nilai Total Sulfur tampak lebih bervariasi dan mencapai beberapa puncak ekstrem, seperti di IUI, yang mendekati 4.3%. Ini dapat menunjukkan bahwa alterasi hidrotermal dipicu oleh intrusi andesit, yang menyebabkan mineralisasi mineral sulfur sekunder seperti pirit (FeS_2) atau mineral sulfat lainnya. Reaksi kontak panas dan fluida yang dihasilkan oleh intrusi dapat memperkenalkan atau mengkonsentrasikan unsur sulfur ke dalam lapisan batubara. Proses ini dapat menyebabkan rekristalisasi dan remobilisasi berbagai unsur, termasuk sulfur.

Ambang Batas Total Sulfur : Untuk batubara termal, Total Sulfur lebih dari 1% biasanya dianggap di atas ambang batas berdasarkan standar kualitas batubara (seperti standar ekspor atau Permen ESDM No. 15/2010). Kualitas batubara secara teknis menurun karena banyak titik data di zona andesit melampaui batas ini.

Hasil awal diskusi menunjukkan bahwa intrusi andesit dapat meningkatkan nilai Total Sulfur secara signifikan, seperti yang ditunjukkan oleh distribusi data empiris. Jika nilai sulfur tinggi tidak dikendalikan, itu dapat memengaruhi kualitas batubara dan berpotensi meningkatkan Air Asam Tambang (AAT). Hasil analisis tentang pengaruh sulfur pada Andesit dibandingkan dengan *Non-Andesit* mencakup:

1. Total Sulfur Andesit rata-rata adalah 0,569,
2. Total Sulfur *Non Andesit* rata-rata adalah 0,540, dan
3. Total Sulfur Andesit rata-rata memiliki perbedaan +0,028,

yang menunjukkan perbedaan signifikan antara sulfur di wilayah Andesit dan *Non-Andesit* karena *p-value* sebesar 0,0167 yaitu *p-value* < 0.05.

Tabel 1. Hasil analisis statistik nilai Total Sulfur area Andesit dan *Non Andesit*

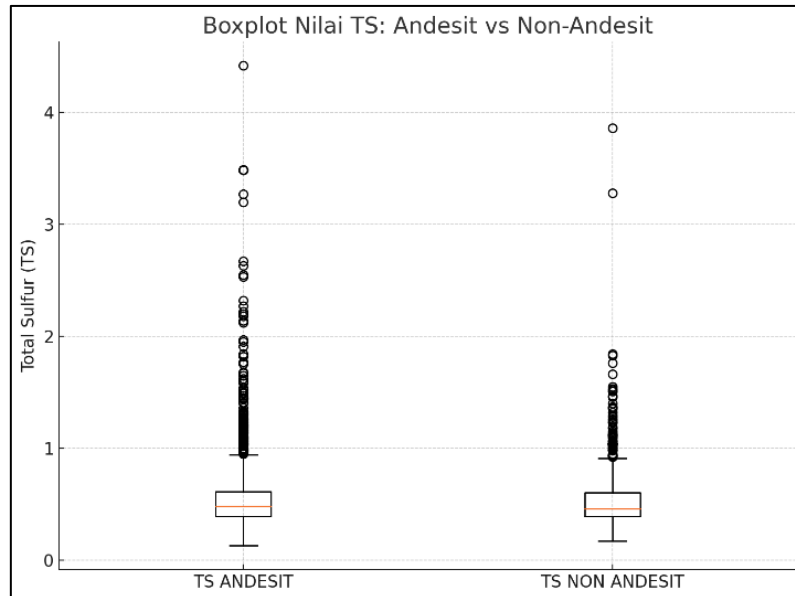
STATISTIK	TS SEKTOR ANDESIT	TS SEKTOR NON ANDESIT	SELISIH
Jumlah data	1274	1274	1274
Rata-rata	0,569	0,540	0,028
Std Dev	0,338	0,256	0,349
Minimum	0,200	0,170	0,030
Kuartil I	0,387	0,388	0,000
Median	0,489	0,460	0,029
Kuartil 3	0,635	0,601	0,035
Maksimum	3,490	3,863	0,373
<i>T. Test</i>			2,915
<i>p-value</i>			0,0167

Secara statistik, area dengan intrusi batuan Andesit memiliki kadar sulfur yang signifikan lebih tinggi dibandingkan area *Non-Andesit* berdasarkan data *sub-seam* ini.

Hasil analisa dari grafik pada gambar 4 dapat disimpulkan beberapa data yaitu :

1. Garis tengah (median) di dalam kotak mewakili nilai tengah Total Sulfur.
2. Kotak (interkuartil) menunjukkan sebaran 50% data di antara kuartil 1 & 3.
3. Garis *whisker* memperlihatkan sebaran data di luar kuartil, tanpa outlier ekstrem.
4. Titik-titik di luar whisker adalah outlier, menunjukkan *sub-seam* dengan kadar sulfur yang jauh dari rata-rata.

Hasil visual ini memperkuat analisis sebelumnya bahwa area dengan intrusi andesit cenderung memiliki Total Sulfur lebih tinggi dan sebaran lebih lebar, meskipun terdapat beberapa *outlier* ekstrem di kedua kelompok.



Gambar 4. *boxplot* distribusi Total Sulfur (TS) antara area Andesit dan *Non-Andesit*

Perbedaan besar dalam kandungan sulfur antara daerah Andesit dan *Non Andesit* menunjukkan bahwa intrusi andesit membuat kandungan sulfur pada batubara meningkat. Selama proses intrusi batuan beku, dapat terjadi pemanasan dan reaksi kimia yang mengubah struktur dan komposisi batubara, termasuk peningkatan konsentrasi sulfur organik dan anorganik.

Variasi lokal masih sangat mungkin. Di beberapa *subseam*, Total Sulfur *Non Andesit* lebih tinggi. Karena itu, meskipun andesit memiliki pengaruh yang signifikan secara umum, evaluasi lokal masih diperlukan untuk perencanaan tambang dan pengelolaan kualitas batubara. Faktor lain yang dapat memengaruhi distribusi sulfur adalah sebagai berikut :

1. Permeabilitas batuan induk;
2. Sistem retakan dan jalur fluida; dan
3. Aktivitas setelah deposisi.

Selain itu, klasifikasi arah pengaruh menunjukkan bahwa sebagian besar *subseam* termasuk dalam kategori "*Andesit > Non Andesit*", mendukung kesimpulan uji statistik. Berdasarkan data statistik tersebut, beberapa hal dapat disimpulkan, antara lain :

1. Sangat penting untuk memperhatikan daerah dengan intrusi andesit karena mereka berpotensi memiliki tingkat sulfur yang tinggi,
2. Kualitas air di daerah ini harus dikontrol dengan lebih baik,
3. Perencanaan tambang harus mempertimbangkan geokimia daripada geologi fisik,
4. Penelitian lebih lanjut diperlukan untuk menyelidiki bagaimana pH air, kandungan abu, dan kelembaban berinteraksi satu sama lain.

Menurut analisis yang dilakukan, dapat disimpulkan bahwa intrusi batuan andesit memiliki pengaruh yang signifikan terhadap peningkatan kandungan sulfur dalam batubara. Secara statistik, kandungan sulfur di wilayah Andesit lebih tinggi daripada wilayah *Non-Andesit*. Meskipun demikian, perbedaan antara *sub-seam* menunjukkan betapa pentingnya analisis lokal dan spasial dalam membantu keputusan lingkungan dan operasional. Analisis ini memberikan dasar ilmiah yang kuat untuk pemantauan dan pengelolaan kualitas batubara yang menggabungkan data geologi dan geokimia.

KESIMPULAN

1. Hasil analisis distribusi kadar total sulfur (TS) pada area yang terpengaruh oleh intrusi batuan andesit menunjukkan bahwa sebagian besar *subseam* di zona andesit memiliki kadar sulfur yang lebih tinggi daripada di zona *non andesit*.
2. Dengan nilai *p-value* 0,0167 ($< 0,05$), uji statistik menunjukkan perbedaan yang signifikan. Ketika batuan andesit bersentuhan dengan batubara, terbentuk mineral sulfida seperti pirit (FeS_2), yang menyebabkan peningkatan ini.
3. Menunjukkan bahwa persentase mineral pembentuk asam dalam batuan andesit cukup besar untuk mempengaruhi kualitas geokimia batubara di sekitarnya. *Subseam* yang terintrusi batuan andesit menunjukkan kadar sulfur yang lebih tinggi dibandingkan dengan *seam non andesit* karena korelasi positif antara kehadiran andesit dan kandungan sulfur.

DAFTAR PUSTAKA

1. Best, M. G. (2003). *Igneous and Metamorphic Petrology*. Wiley-Blackwell Publishing.
2. Blatt, H., Tracy, R. J., & Owens, B. E. (2006). *Petrology: Igneous, Sedimentary, and Metamorphic*. W.H. Freeman and Company.
3. Casagrande, D.J. (1987). Sulphur in Peat and Coal. In: Scott, AC (editor), *Coal and Coal and Bearing Strata: Recent Advance*. Geology Society, London.
4. Chandra, P., et al. (2015). Impact of Magmatic Intrusion on Sulfur Content in Coals: A Case Study. *Journal of Geochemical Research*, 10(2), 123-135.
5. Endarto, D. 2005. *Pengantar Geologi Dasar*, Lpp Uns dan Uns Press, Surakarta
6. Gates, W. P., et al. (2001). Sulfide Mineral Oxidation and Acid Mine Drainage Formation. *Environmental Geology*, 41(3-4), 482-492.
7. Guilbert, J. M., & Park, C. F. Jr. (1986). *The Geology of Ore Deposits*. Waveland Press.
8. Hunt, J.W., Brakel, A.T., & Smyth, M. (1984). Origin and Distribution of the Bayswater Seam and Correlatives in Permian Sydney and Gunnedah Basins. *Australian Coal Geology*, Vol 6, p. 59-75. Australia
9. Jamie I. Farquharson, Jan 17th 2019, Acid-Induced Dissolution of Andesite: Evolution of Permeability and Strength, American Geophysical Union.
10. Joko Subandrio and Ronaldo Irzon, Feb 24th, 2020, Trace and Rare Earth Elements Compositional Change on Andesite Alteration in Kaligesing, Purworejo, *Journal of Geology and Mineral Resources, Indonesia*.
11. Lenggono T., Doni Prakasa E.P., and Agung Setianto, 2018, The Quality and Distribution of Andesite Rock for Construction Materials in Kokap and Temon District, Kulon Progo Regency, Yogyakarta–Indonesia, Department of Geological Engineering, Faculty of Engineering, Gadjah Mada University, Yogyakarta, Indonesia
12. Nouval M.A., Mega F.R., Kurnia A., and Nazihah N., 2019, Petrogenesis of Andesite in Bukitcula, Baleendah District, Southern Bandung, West Jawa, *Journal of Geological Sciences and Applied Geology, Indonesia*.
13. Petrologi (Seluk Beluk Batuan), [diakses pada : 1 Oktober 2022], tersedia pada : <https://geoenviron.wordpress.com/2012/10/01/petrologi-seluk-beluk-batuan/>, *Geoenviron*.
14. Rahman, M., et al. (2019). Effects of Andesitic Intrusion on Sulfur Enrichment in Coal Seam. *International Journal of Mining and Geology*, 15(3), 201-214.
15. Sebastian P. L., & Handoko, T.W., 2016, *Geologi dan Petrogenesa Batuan Andesit Desa Sumbertangkil dan Sekitarnya Kecamatan Tirtoyudo Kabupaten Malang Propinsi Jawa Timur*, Jurusan Teknik Geologi, Fakultas Teknologi Mineral dan Kelautan, ITATS, Surabaya.
16. Sebastian, P. L., & Handoko, T. W. (2016). *Pengantar Petrologi Batuan Beku*. Yogyakarta: Penerbit Geosains Nusantara.
17. Sosrodarsono dan Takeda. 1987, *Hidrologi Untuk Pengairan*, PT. Pradnya Paramitha, Jakarta
18. Zuhdy, M., 2019, *Buku Ajar Pengantar Geologi*, Duta Pustaka Ilmu, Lombok-NTB.
19. Chou, C.-L. (2012). Sulfur in coals: A review of geochemistry and origins. *International Journal of Coal Geology*, 100, 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.coal.2012.05.009>
20. . Chou, C.-L. (2012). Sulfur in coals: A review of geochemistry and origins. *International Journal of Coal Geology*, 100, 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.coal.2012.05.009>
21. Yao, Y., Liu, D., & Huang, W. (2011). Influences of igneous intrusions on coal rank, coal quality and adsorption capacity in Hongyang, Handan and Huaibei coalfields, North China. *International Journal of Coal Geology*, 88(2–3), 135–146. <https://doi.org/10.1016/j.coal.2011.09.004>
22. Calkins, W. H. (1994). The chemical forms of sulfur in coal: A review. *Fuel*, 73(4), 475–484. [https://doi.org/10.1016/0016-2361\(94\)90028-0](https://doi.org/10.1016/0016-2361(94)90028-0)