

ANALISIS DATA GEOLISTRIK 2D UNTUK PENENTUAN LAPISAN BATU BARA DAN ESTIMASI SUMBER DAYA BATU BARA DI LAPANGAN NEIRA, KALIMANTAN UTARA

2D GEOELECTRIC DATA ANALYSIS FOR COAL LAYER DETERMINATION AND COAL RESOURCE ESTIMATION IN THE NEIRA FIELD, NORTH KALIMANTAN

Yuni Elfrina Siringoringo^{1*}, Rizka², Nugroho Prasetyo³, Nur Hidayat⁴

^{1,2,3}Teknik Geofisika, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sumatera
Jalan Terusan Ryacudu, Desa Way Hui, Kecamatan Jatiagung, Lampung Selatan 35365.

⁴Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN)

Kawasan Puspitek Ged.820, Serpong, Tangerang Selatan 15314.

*Email corresponding: yunisiringoringo77@gmail.com

Cara sitasi: Y. E. Siringoringo, Rizka, N. Prasetyo, dan N. Hidayat, "Analisis Data Geolistrik 2D untuk Penentuan Lapisan Batu Bara Dan Estimasi Sumber Daya Batu Bara di Lapangan Neira, Kalimantan Utara," *Kurvatek*, vol. 11, no. 1, pp. 29-36, 2026. doi: [10.33579/krvtk.v11i1.6218](https://doi.org/10.33579/krvtk.v11i1.6218) [Online].

Abstrak— Lapangan Neira di Kalimantan Utara memiliki potensi batu bara, namun informasi mengenai kondisi bawah permukaan masih terbatas karena minimnya kegiatan eksplorasi geofisika yang terdokumentasi. Keterbatasan data ini membuat diperlukan penelitian geofisika untuk mengidentifikasi lapisan batu bara dan memperkirakan sumber dayanya secara lebih akurat. Metode yang digunakan adalah geolistrik resistivitas 2D dengan konfigurasi Wenner-Schlumberger dan analisis geostatistika menggunakan *ordinary kriging* pada perangkat lunak SGeMS. Hasil pengolahan data geolistrik resistivitas 2D menunjukkan bahwa lapisan batu bara memiliki nilai resistivitas 90–150 Ωm . Estimasi sumber daya diperoleh melalui pemodelan resistivitas dan interpolasi spasial dengan total sumber daya sebesar 2.124.510,323 ton, dan setelah dilakukan koreksi faktor geologi jumlahnya menjadi 650.951,016 ton. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi acuan dalam eksplorasi dan pengelolaan batu bara di Kalimantan Utara secara berkelanjutan.

Kata kunci: Batu bara, Estimasi sumber daya, Geolistrik resistivitas 2D, *Ordinary kriging*, Wenner-Schlumberger.

Abstract— The Neira Field in North Kalimantan has coal potential, but information on subsurface conditions is still limited due to the lack of documented geophysical exploration activities. This limited data requires geophysical research to identify coal seams and estimate their resources more accurately. The method used is 2D geoelectric resistivity with the Wenner-Schlumberger configuration and geostatistical analysis using *ordinary kriging* in SGeMS software. The results of 2D geoelectric resistivity data processing indicate that the coal seam has a resistivity value of 90–150 Ωm . Resource estimates are obtained through resistivity modeling and spatial interpolation with a total resource of 2,124,510.323 tons, and after correction for geological factors the amount becomes 650,951.016 tons. The results of this study are expected to be a reference in sustainable coal exploration and management in North Kalimantan.

Keywords: Coal, Resource estimation, 2D resistivity geoelectricity, *Ordinary kriging*, Wenner schlumberger.

I. PENDAHULUAN

Kalimantan Utara merupakan salah satu daerah penghasil batu bara dengan kontribusi signifikan terhadap pemenuhan energi. Meskipun demikian, potensi batu bara di beberapa wilayah di provinsi ini masih belum dieksplorasi dan dimanfaatkan secara optimal, termasuk di lapangan Neira yang secara geologi berada pada lingkungan pengendapan batu bara. Batu bara menjadi salah satu komoditas energi strategis yang tidak hanya digunakan untuk kebutuhan domestik, tetapi juga berperan penting sebagai komoditas ekspor ke negara-negara yang bergantung pada energi fosil [1].

Batu bara memiliki peran penting dalam mendukung pembangunan nasional, baik sebagai bahan bakar utama maupun pembangkit listrik maupun sebagai bahan baku industri, seperti baja dan lainnya. Batu bara dikategorikan sebagai batuan sedimen yang terbentuk dari akumulasi material organik dan melalui proses geologis panjang, dengan kualitas ditentukan oleh kandungan karbonnya [2].

Salah satu metode yang banyak digunakan untuk mendukung eksplorasi batu bara adalah metode geofisika, khususnya geolistrik. Metode geolistrik 2D memanfaatkan aliran listrik di dalam bumi untuk memperoleh informasi resistivitas bawah permukaan, yang dapat digunakan untuk mengidentifikasi keberadaan lapisan batu bara, kedalaman, serta ketebalannya [3]. Konfigurasi yang digunakan adalah konfigurasi Wenner-Schlumberger. Konfigurasi ini adalah gabungan dari konfigurasi Wenner dan Schlumberger bahwa konfigurasi Wenner akan menghasilkan data resistivitas secara lateral, sedangkan pada konfigurasi Schlumberger data yang diperoleh akan lebih terfokus pada kedalaman.

Dalam kegiatan eksplorasi dan evaluasi sumber daya, estimasi cadangan merupakan tahapan untuk menentukan besaran potensi bahan galian, termasuk batu bara pada suatu daerah. Pemilihan metode estimasi dipengaruhi oleh ketersediaan serta kualitas data. Beberapa pendekatan yang diterapkan dalam estimasi sumber daya antara lain metode *polygon*, *triangular*, *grid/blok*, geostatistika, dan volumetrik [4]. Pada penelitian ini, metode geostatistika digunakan untuk memperoleh estimasi sumber daya batu bara.

Dalam dunia eksplorasi dan pemodelan sumber daya, dilakukan analisis geostatistika untuk estimasi sumber daya pada batu bara. Tujuan utama dari estimasi sumber daya dengan geostatistika untuk memperkirakan nilai suatu variabel (seperti kadar, ketebalan, atau densitas) pada lokasi yang tidak terukur berdasarkan nilai yang diketahui di lokasi-lokasi terdekat. Estimasi ini dilakukan dengan mempertimbangkan hubungan spasial antara data, yang dianalisis menggunakan variogram. Variogram memiliki fungsi yang menggambarkan seberapa besar dua titik dalam ruang saling berkorelasi berdasarkan jaraknya [5].

Pendekatan geostatistika yang paling umum digunakan adalah metode linier *univariat* seperti *ordinary kriging* (OK) dan *simple kriging* (SK) [6]. Pendekatan geostatistika yang digunakan pada penelitian ini adalah *ordinary kriging* yang merupakan metode interpolasi untuk perhitungan estimasi sumber daya batu bara. *Ordinary kriging* merupakan metode estimasi linier terbaik, yang berarti nilai rata-rata kesalahan sistematis bernilai nol serta varians kesalahan yang minimum. Metode ini tidak hanya menghasilkan nilai estimasi, tetapi juga menghitung varians kriging yang merepresentasikan tingkat ketidakpastian maupun tingkat kepercayaan terhadap hasil estimasi [5].

Ordinary kriging juga melakukan tahap pemodelan variogram yang digunakan untuk menggambarkan struktur spasial data dengan melihat keterkaitan variogram terhadap jarak. Kelebihan *ordinary kriging* ini memberikan hasil estimasi terbaik tak bias atau disebut dengan *Best Linear Unbiased Estimator* (BLUE). Untuk estimasi sumber daya batu bara, sangat penting melihat keakuratan data. Data yang perlu dibandingkan atau dicocokkan adalah data ketebalan aktual dengan data ketebalan prediksi yang dilakukan dengan uji validasi. Validasi bertujuan untuk membandingkan antara data hasil estimasi dengan data sampel sehingga diketahui nilai rata-rata *error* dan nilai koefisien korelasinya [7].

Untuk uji validasi yang dilakukan pada data aktual dengan data prediksi, nilai *rmse* merupakan salah satu parameter yang digunakan untuk menilai tingkat keakuratan hasil validasi model. Nilai RMSE yang kecil atau mendekati nol dianggap baik, dan adanya nilai koefisien determinasi yang didapatkan berasal dari kuadrat koefisien korelasi yang dinilai baik ketika nilainya mendekati satu. Nilai koefisien ini menunjukkan kecermatan hubungan data aktual dengan prediksi [8].

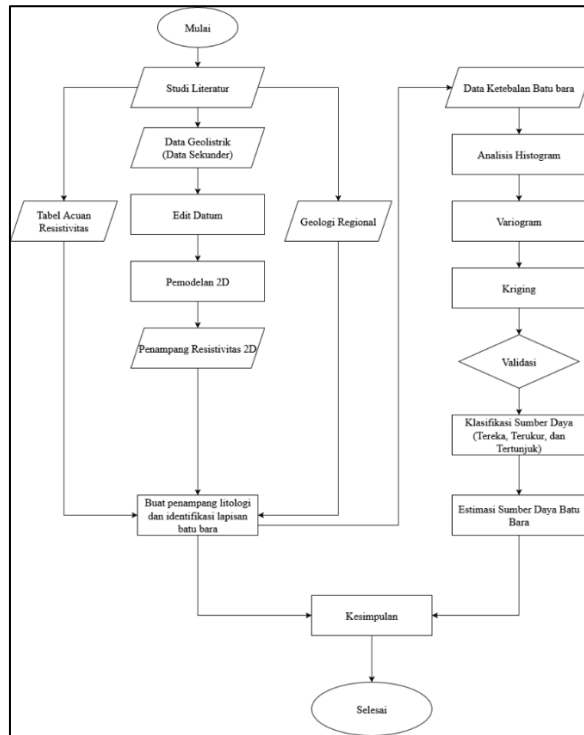
Pentingnya estimasi sumber daya batu bara dilakukan untuk mengetahui seberapa banyak batu bara yang dapat ditambang pada daerah penelitian. Proses ini tidak hanya bertujuan untuk menghitung jumlah batu bara, tetapi juga menentukan klasifikasi sumber daya berdasarkan tingkat keyakinan geologi, sehingga dapat menjadi dasar dalam pengambilan keputusan teknis maupun ekonomis. Dengan penelitian ini, diharapkan hasil penelitian dapat memberikan kontribusi terhadap pengembangan data geologi bawah permukaan di Lapangan Neira dan menjadi referensi awal bagi kegiatan eksplorasi lanjutan, sehingga dapat mendukung pemanfaatan sumber daya batu bara secara berkelanjutan dan bertanggung jawab.

II. METODE

Data yang digunakan pada penelitian ini adalah data sekunder yang diperoleh dari Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) dan diolah di Institut Teknologi Sumatera. Data yang digunakan pada penelitian ini sebanyak 7 lintasan, panjang setiap lintasan 235 meter, spasi antar elektroda 5 meter, elektroda yang digunakan sebanyak 48 elektroda, dan konfigurasi yang digunakan adalah konfigurasi Wenner-Schlumberger. Data dengan 7 lintasan diolah menggunakan perangkat lunak Res2Dinv untuk melakukan pemodelan inversi, sehingga diperoleh penampang resistivitas bawah permukaan. Selain metode geolistrik,

terdapat analisis geostatistika untuk estimasi sumber daya batu bara. Untuk estimasi sumber daya batu bara diolah menggunakan perangkat lunak SGeMS dengan metode interpolasi yaitu *ordinary kriging*.

Penelitian ini menggunakan peta geologi regional, yaitu Peta Geologi Lembar Tarakan dan Sebatik yang diterbitkan oleh Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, sebagai acuan utama untuk memahami kondisi geologi di area studi. Informasi dari peta tersebut menjadi landasan dalam melakukan interpretasi lebih lanjut pada penelitian ini. Gambar 1 menunjukkan diagram alir metode yang diterapkan di lokasi penelitian.

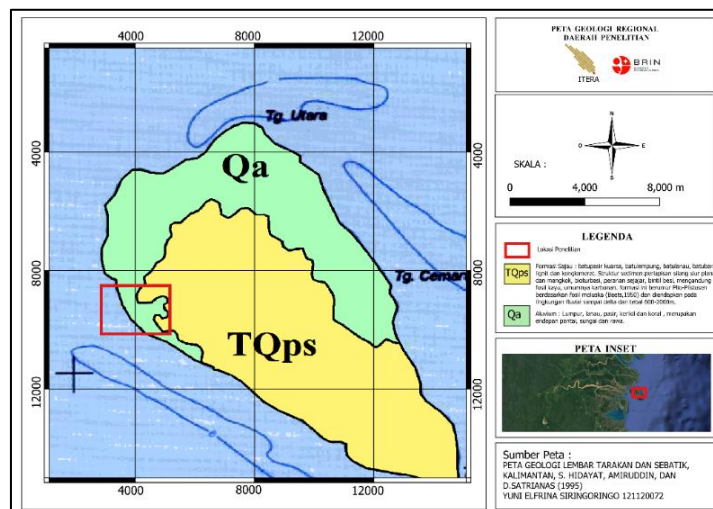


Gambar 1. Diagram alir metode penelitian

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Geologi Daerah Penelitian

Di wilayah lapangan Neira, Kalimantan Utara terdapat 2 formasi batuan yaitu Formasi Qa (Alluvium) Holosen dan Formasi TQps (Sajau) berumur Plistosen [9] yang dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Peta geologi regional [9].

Berdasarkan Peta geologi regional, pada formasi Qa (Alluvium) yang berada pada kuartir Holosen terdapat beberapa litologi batuan yaitu batu lanau, batupasir, lumpur, kerikil, dan koral yang merupakan endapan pantai, sungai, dan rawa. Untuk formasi TQps (Sajau) terdapat beberapa litologi batuan yaitu batupasir kuarsa, batulempung, batu bara lignit, dan konglomerat. Batuan berumur Pleistosen pada daerah penelitian ini masuk ke dalam kategori batuan sedimen. Batuan sedimen yang berasal dari proses pengendapan material seperti pasir, lumpur, dan kerikil.

Berdasarkan penelitian-penelitian sebelumnya di sekitar lokasi penelitian yang menggunakan tabel acuan resistivitas dari Telford dkk. (1990) serta Ningsih dkk. (2022), penelitian ini juga menerapkan tabel acuan resistivitas Telford sebagaimana ditampilkan pada Tabel 1. Selain itu, acuan tersebut diperkuat oleh tabel resistivitas dari penelitian terdahulu di Kalimantan Utara yang memiliki formasi geologi serupa dengan lokasi penelitian, sebagaimana tercantum pada Tabel 2.

Tabel 1. Nilai resistivitas batuan [10]

Material	Resistivitas (Ωm)
Lempung (<i>Clay</i>)	1-100
Batupasir (<i>Sandstone</i>)	200-8000
Alluvium (<i>Alluvium</i>)	10-800
Lignite (<i>Coal</i>)	9-200

Table 2. Nilai resistivitas batuan penelitian sebelumnya [11]











Material	Resistivitas (Ωm)
Batu bara lignit	Oct-30
Batupasir Halus, Batupasir Kasar	104 - 1506
Konglomerat	1506 - 6400

B. Penampang Litologi Bawah Permukaan

Menentukan litologi bawah permukaan dilakukan berdasarkan hasil pemodelan resistivitas 2D dengan mempertimbangkan kisaran nilai resistivitas dan korelasi geologi. Penampang resistivitas 2D yang awalnya hanya memperlihatkan distribusi variasi nilai resistivitas, kemudian dibuat menjadi model litologi untuk mempermudah interpretasi. Pada penelitian ini menggunakan Tabel 1 yang merupakan tabel acuan resistivitas dari Telford dkk. (1990) serta Ningsih dkk. (2022), penelitian terdahulu dengan nilai resistivitas batuan yang digunakan sebagai tabel acuan untuk penelitian ini. Tabel 2 adalah penelitian [11] yang memiliki formasi yang sama dengan penelitian ini.

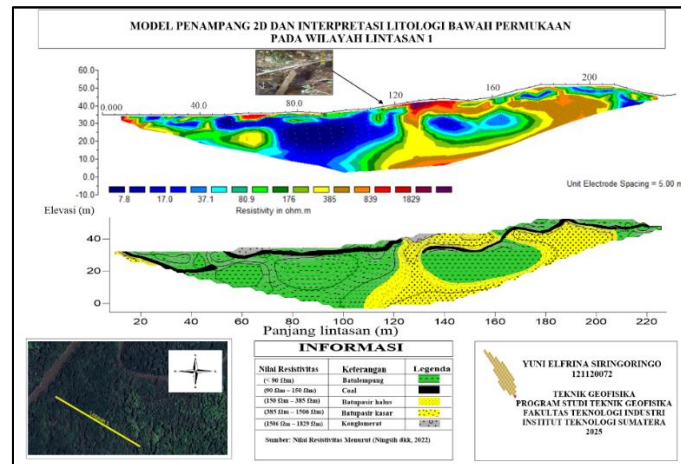
Tabel 3 menunjukkan korelasi antara nilai resistivitas hasil pengukuran geolistrik dan litologi bawah permukaan. Rentang resistivitas $<90 \Omega m$ diinterpretasikan sebagai batulempung, $90-150 \Omega m$ sebagai batu bara lignit, $150-385 \Omega m$ sebagai batupasir halus, $385-1506 \Omega m$ sebagai batupasir kasar, dan $1506-1829 \Omega m$ sebagai konglomerat. Korelasi tersebut divisualisasikan melalui pola dan warna pada penampang 2D untuk memudahkan interpretasi.

Tabel 3. Interpretasi litologi 7 lintasan

	Resistivitas	Litologi	Jenis Batuan	Resistivitas (Ωm)
Lintasan			Batulempung	<90
			Batu bara	$90-150$
			Batupasir halus	$150-385$
			Batupasir kasar	$385-1506$
			Konglomerat	$1506-1829$

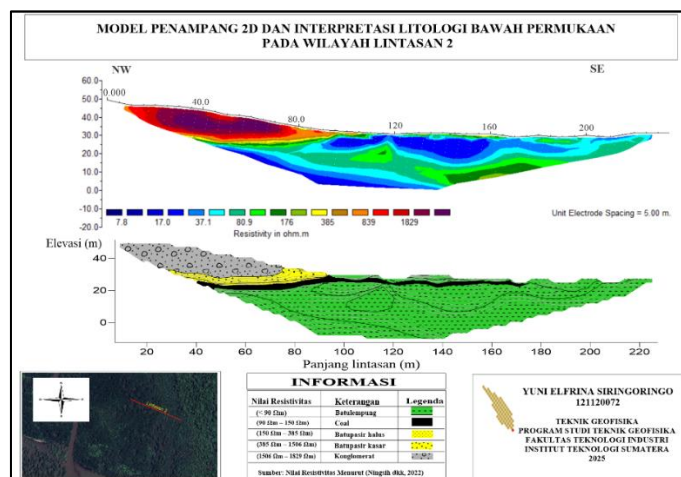
Gambar 3 menunjukkan hasil penampang litologi bawah permukaan dengan lapisan batu bara yang memperlihatkan persebaran lateral. Pada penampang 2D dapat dilihat bahwa lapisan batu bara tampak menipis hingga terputus, dengan endapan pasir hasil migrasi saluran sungai yang menutupi lapisan batu bara. Lapisan batu bara menunjukkan kontinuitas di bagian tengah, sedangkan pada bagian tepi cenderung tidak menerus. Hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian Ningsih dkk. (2022) di Tanjung Palas Timur, yang mengklasifikasikan batu bara pada Formasi Sajau sebagai batu bara lignit yang diapit oleh batulempung dan batupasir. Keberadaan lapisan batu bara dan jenis batu bara pada penelitian ini juga

didukung oleh singkapan batu bara dan data geologi regional, yaitu peta geologi lembar Tarakan dan Sebatik [9].



Gambar 3. Model penampang litologi bawah permukaan lintasan 1

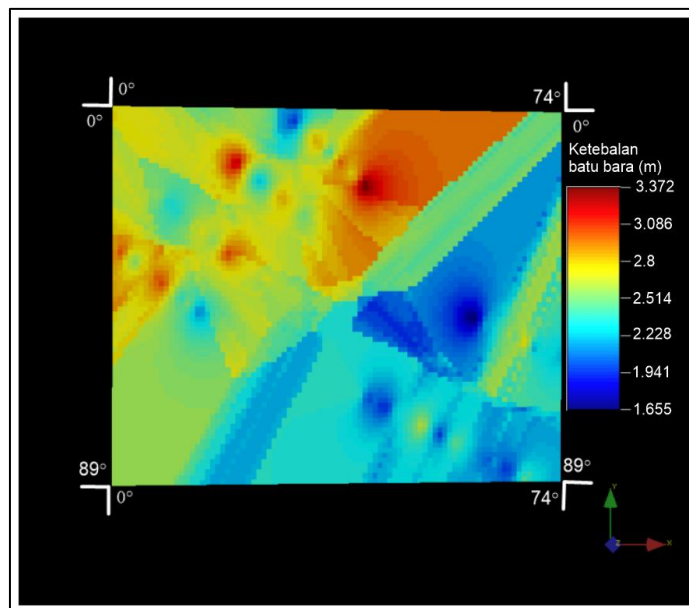
Gambar 4 menunjukkan model penampang litologi bawah permukaan lintasan 2 yang didominasi litologi batulempung dengan rentang resistivitas <math>< 90 \Omega m</math> yang menunjukkan jenuh air. Lapisan batu bara pada lintasan 2 tampak tipis dan terputus, yang memperlihatkan ketidakmenerusan lateral. Migrasi saluran sungai membawa material pasir dan menutup sebagian lapisan batu bara. Pengaruh alur sungai yang berbelok-belok pada lokasi penelitian ini membuat lapisan batu bara hanya secara lokal.



Gambar 4. Model penampang litologi bawah permukaan lintasan 2

C. Estimasi Sumber Daya Batu bara

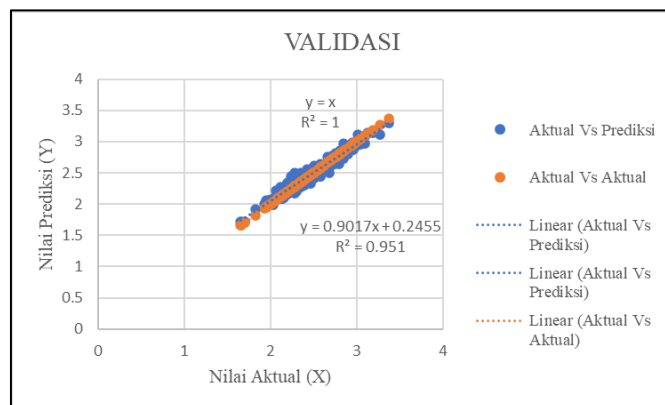
Hasil estimasi sumber daya batu bara yang diperoleh melalui penerapan metode geostatistik. Analisis yang dilakukan dari evaluasi data ketebalan dalam bentuk histogram untuk melihat distribusi dan kecenderungan statistik data. Dilakukan pemodelan variogram untuk memahami struktur spasial dan kontinuitas data, yang menjadi dasar dalam hasil kriging. Kualitas hasil kriging bergantung pada kesesuaian model variogram. Pada model variogram eksperimental terdapat parameter seperti *number of lags*, *lag separation*, dan *lag tolerance* yang harus disesuaikan. Model yang digunakan pada variogram adalah model *exponential*. Untuk hasil interpolasi spasial dengan menggunakan metode kriging pada data ketebalan batu bara dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Hasil kriging

Gambar 5 menunjukkan model kriging yang memperlihatkan variasi ketebalan batu bara dalam bentuk warna, warna kuning hingga merah adalah ketebalan batu bara relatif besar, sedangkan warna hijau hingga biru adalah ketebalan batu bara relatif kecil. Jika ada perubahan warna yang kontras atau tajam, artinya adanya transisi atau ketidakpastian yang lebih tinggi. Hasil estimasi data ketebalan batu bara yang didapatkan akan dibandingkan dengan data ketebalan aktual. Kesesuaian hasil estimasi dengan data awal yang besar menunjukkan distribusi ketebalan yang dihasilkan dianggap representatif untuk perhitungan volume sumber daya batu bara [8].

Untuk estimasi sumber daya batu bara, dilakukan pengujian/uji validasi untuk membandingkan data aktual dengan data prediksi, serta menentukan klasifikasi sumber daya sesuai standar yang berlaku dengan mempertimbangkan tingkat keyakinan geologi. Hasil uji validasi dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 6. Uji validasi

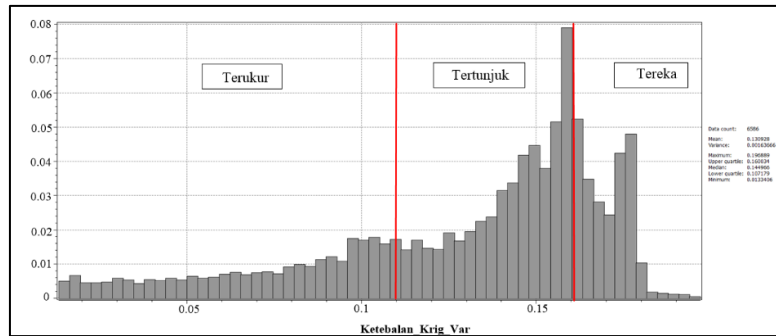
Gambar 6 menunjukkan hasil validasi dari data aktual dengan data prediksi. Yang divalidasi adalah data ketebalan awal dengan data ketebalan baru yang didapatkan dari proses kriging. Untuk hasil perhitungan pada validasi didapatkan nilai *RMS error* dan koefisien korelasi yang menunjukkan hasil estimasi berkorelasi akurat. Untuk perhitungan *RMS error* dan koefisien korelasi pada uji validasi dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 1. Nilai rmse dan koefisien korelasi

RMSE (%)	Koefisien korelasi
3,312512	0,9751

Setelah melakukan uji validasi pada perhitungan estimasi sumber daya batu bara, didapatkan nilai *RMS error* dan koefisien korelasi pada Tabel 3. Penentuan klasifikasi sumber daya ditentukan dari analisis histogram dan perhitungan sumber daya batu bara. Klasifikasi sumber daya dibagi menjadi 3 yaitu terukur,

tertunjuk, dan tereka yang dapat dilihat pada Gambar 7, tetapi akan ditentukan satu klasifikasi dari ketiga klasifikasi tersebut. Dari analisis histogram, sebaran ketebalan batu bara terlihat tidak homogen yang memiliki kecenderungan menumpuk pada rentang tertentu. Dari hasil analisis histogram dan perhitungan sumber daya, klasifikasi sumber daya batu bara pada penelitian ini adalah dominan tertunjuk dengan 1.053.215,939 ton batu bara. Untuk perhitungan sumber daya pada penentuan klasifikasi dapat dilihat pada Tabel 4.



Gambar 7. Hasil histogram klasifikasi sumber daya batu bara

Tabel 2. Klasifikasi sumber daya batu bara

Sumber daya	Nilai estimasi	Tonase batu bara (ton)	Volume batu bara (m ³)
Terukur	< 0,107	535.633,72	412.025,94
Tertunjuk	0,107 – 0,160	1.053.215,94	810.166,11
Tereka	> 0,160	535.660,67	412.046,67

Setelah penentuan klasifikasi sumber daya batu bara, dilakukan perhitungan pada volume total, tonase total, *geological losses*, serta tonase akhir yang didapatkan pada daerah penelitian ini. Volume batu bara didapatkan dari perhitungan data ketebalan dan luas *cell grid*. Setelah didapatkan volume batu bara, dilakukan perhitungan tonase batu bara yang didapat dari nilai volume batu bara dikalikan dengan nilai densitas batu bara (1,3 ton/m³). penentuan volume total dilakukan untuk menggariskan kapasitas fisik cadangan batu bara pada suatu daerah, sedangkan penentuan tonase termasuk parameter utama dalam klasifikasi sumber daya maupun cadangan. Tetapi bukan hanya menentukan tonase batu bara, perlu dilakukan perhitungan *geological losses* sebelum perencanaan penambangan untuk evaluasi kelayakan dan pengambilan keputusan. Penerapan perhitungan *geological losses* menunjukkan bahwa tidak seluruh tonase batu bara hasil estimasi dapat ditambang karena adanya bagian yang hilang. Oleh karena, aspek ini menjadi komponen penting dalam evaluasi sumber daya serta dasar pengambilan keputusan teknis pada kegiatan pertambangan batu bara. Untuk hasil perhitungan volume total, tonase total, tonase akhir, serta *geological losses* dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 3. Volume total, tonase total, tonase akhir, dan *geological losses*

Volume total	Tonase total	Sisa tonase akhir	Geological Losses
1.634.238,71m ³	2124510,323 ton	1650951,016 ton	473559,307 ton

IV. KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa batu bara di daerah penelitian memiliki nilai resistivitas 90–150 Ω m dengan sebaran batu bara cenderung tidak menerus diduga karena lokasi penelitian di dekat rawa dan sungai bermeander. Tonase total diperoleh sebesar 2.124.510,323 ton dengan 1.053.215,939 ton klasifikasi tertunjuk. Pada perhitungan estimasi sumber daya, sisa tonase akhir sebesar 1.650.951,016 ton yang sudah dikurangkan dengan perhitungan *geological losses* sebesar 473.559,307 ton.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada BRIN (Badan Riset dan Inovasi Nasional) atas penyediaan data yang mendukung penelitian ini. Penulis juga ingin berterima kasih kepada Ibu Rizka, S.T., M.T. dan Bapak Nugroho Prasetyo, S.T., M.T. serta Bapak Nur Hidayat, S.T., M.Si. selaku dosen pembimbing saya yang mendukung dan memberi arahan kepada penulis. Penulis juga tidak lupa mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang tidak dapat saya sebutkan, yang telah memberi masukan dan kritik terhadap penulis.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. Pahlevi, S. Thamrin, I. Ahmad, and F. B. Nugroho, "Masa Depan Pemanfaatan Batubara sebagai Sumber Energi di Indonesia," *Jurnal Energi Baru dan Terbarukan*, vol. 5, no. 2, pp. 50–60, Jul. 2024, doi: <https://doi.org/10.14710/jebt.2024.22973>.
- [2] E. R. Ogara, A. Fadhilah, and A. Ilham, "Penentuan peringkat dan pengaruh karakteristik batubara terhadap nilai kalori," *JGE (Jurnal Geofisika Eksplorasi)*, vol. 9, no. 2, pp. 122–130, Jul. 2023, doi: <https://doi.org/10.23960/jge.v9i2.275>.
- [3] H. Santoso and Jusfarida, "Perhitungan Cadangan Batubara menggunakan Metode Geolistrik Di Desa Bakungan, Kec. Loa Kulu, Kabupaten Kutai Kartanegara, Kalimantan Timur," Prosiding Seminar Nasional Teknologi Industri Berkelanjutan IV (SENASTITAN IV), pp. 1-10, Surabaya, 2 Maret 2024.
- [4] A. J. Sinclair and G. H. Blackwell, *Applied Mineral Inventory Estimation*, Cambridge: Cambridge University Press, 2006.
- [5] E. H. Isaaks and R. M. Srivastava, *Applied Geostatistics*, Oxford: Oxford University Press, 1989.
- [6] T. Bliachongvang, "Ore Reserves Estimation of the Nam Nga Coal Deposit, Lao PDR, using Geostatistical Method," Thesis, Department of Mining and Petroleum Engineering, Chulalongkorn University: Bangkok, 2018. [Online]. Available: <https://digital.car.chula.ac.th/chulaetd>
- [7] B. Anggara, I. Marwanza, and M. A. Azizi, "Penentuan Model Variogram Berdasarkan Root Mean Square Error Di PT X, Sulawesi Utara," *Indonesian Mining and Energy Journal*, vol. 4, no. 1, pp. 11-21, Mei 2021.
- [8] Guskarnali, "Metode Point Kriging Untuk Estimasi Sumberdaya Bijih Besi (Fe) Menggunakan Data Assay (3D) pada Daerah Tanjung Buli Kabupaten Halmahera Timur," *PROMINE*, vol. 4, no. 2, pp. 13-20, December 2016. DOI: <https://doi.org/10.33019/promine.v4i2.106>.
- [9] Hidayat, Amiruddin, and D. Satrianas, "1919&1920 Tarakan&Sebatik," 1995.
- [10] W. M. Telford, L. P. Geldart, and R. E. Sheriff, *Applied Geophysics*, 2nd edition, Cambridge University Press, 1990.
- [11] P. S. A. Ningsih, Sutrisno, T. Zera, and E. Wijaksono, "Identification of Characteristics and Distribution of Subsurface Coal using the 2D Geoelectric Method in Tanjung Palas Timur District, North Kalimantan," *Al-Fiziya: Journal of Materials Science, Geophysics, Instrumentation and Theoretical Physics*, vol. 5, no.1, pp. 33–45, 2022, doi: <https://doi.org/10.15408/fiziya.v5i1.23106>.



©2026. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the [Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/).