



Studi Kematangan Batubara Formasi Warukin Berdasarkan Analisis Geokimia dan *Reflectance Vitrinite* di Barito Selatan, Kalimantan Tengah

Arica Nefia^{1*}, Emanuel Grace Manek²

¹Fakultas Teknik, Universitas Lambung Mangkurat, Kalimantan Selatan, Indonesia.

²Fakultas Teknik, Universitas Jember, Jawa Timur, Indonesia.

DOI: <https://doi.org/10.29303/goescienceed.v7i1.1709>

Article Info:

Received : 11 Januari 2026
Revised : 21 Januari 2026
Accepted : 19 Februari 2026
Published : 25 Februari 2026

Correspondence:

Arica Nefia

Phone: +6281298221743

Abstract: The Warukin Formation is one of the principal coal-bearing units within the Barito Basin, where coal quality and maturity are strongly influenced by local geological conditions and thermal history. This study aims to determine the coal maturity level of the Warukin Formation in South Barito, Central Kalimantan, through the integration of geochemical analyses and vitrinite reflectance measurements. The methods employed include proximate and ultimate analyses, as well as vitrinite reflectance (Ro) measurements on four coal seams (Seams A, B, C, and D). Proximate analysis results on a dry mineral matter free (dmmf) basis indicate fixed carbon values ranging from 52.41–56.07%, volatile matter from 43.93–47.59%, and calorific values between 11,003.64–11,500.54 cal/g. These parameters consistently classify all seams as Subbituminous A coal rank according to ASTM standards. Vitrinite reflectance measurements show average Ro values ranging from 0.37% to 0.61%, generally corresponding to the Subbituminous rank, with localized increases up to High Volatile Bituminous C in Seam A. These findings indicate that the coal of the Warukin Formation in the study area exhibits low to moderate maturity, with localized variations in thermal maturity. The integration of geochemical data and vitrinite reflectance analysis proves effective in evaluating coal maturity and provides an important basis for assessing coal quality and utilization potential within the Barito Basin.

Keywords: Coal; Coal Maturity; Warukin Formation; Geochemical Analysis; Vitrinite Reflectance; Barito Basin.

Citation: Nefia, A., & Manek, E. G. (2026). Studi Kematangan Batubara Formasi Warukin Berdasarkan Analisis Geokimia dan *Reflectance Vitrinite* di Barito Selatan, Kalimantan Tengah. *Jurnal Pendidikan, Sains, Geologi, Dan Geofisika (GeoScienceEd Journal)*, 7(1), 757–764. <https://doi.org/10.29303/goescienceed.v7i1.1709>

Pendahuluan

Energi fosil, khususnya batubara, masih memegang peranan vital dalam pemenuhan kebutuhan energi global maupun domestik di Indonesia. Sebagai salah satu produsen batubara terbesar di dunia, Indonesia memiliki cekungan-cekungan sedimen yang kaya akan potensi sumber daya organik. Kualitas batubara tersebut sangat ditentukan oleh tingkat kematangannya, yang merupakan hasil dari proses biokimia dan termal selama masa pembendungan (burial).

Cekungan Barito di Kalimantan merupakan salah satu cekungan produktif yang memiliki tatanan

stratigrafi kompleks. Salah satu pembawa batubara yang signifikan di wilayah ini adalah Formasi Warukin yang terbentuk pada kala Miosen Tengah hingga Miosen Akhir. Secara regional, batubara pada formasi ini dikenal memiliki variasi kualitas yang dipengaruhi oleh kontrol tektonik dan lingkungan pengendapan yang dinamis di sepanjang tepian timur Cekungan Barito.

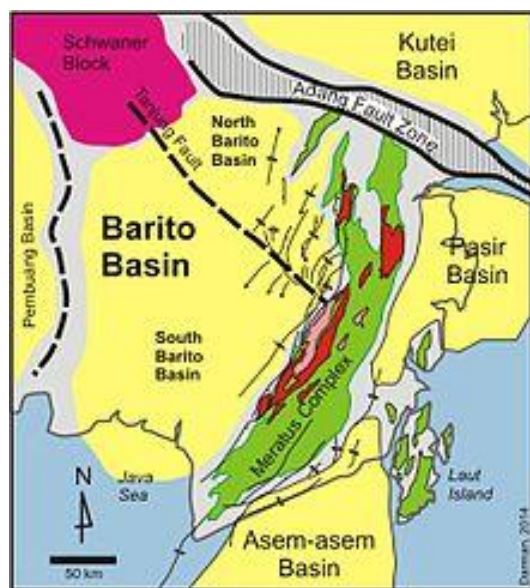
Penentuan tingkat kematangan batubara (coal rank) menjadi aspek krusial dalam industri pertambangan dan eksplorasi migas non-konvensional. Tingkat kematangan ini mencerminkan sejauh mana material organik telah mengalami perubahan akibat

pengaruh suhu dan tekanan selama waktu geologi. Dua metode yang dianggap paling akurat dalam mengukur parameter ini adalah analisis geokimia (seperti analisis proksimat dan ultimat) serta pengukuran *Reflectance Vitrinite* (R_o). *Reflectance Vitrinite* khususnya, merupakan indikator paling sensitif karena sifat optik maseral vitrinit berubah secara searah dan permanen terhadap peningkatan suhu. Meskipun Formasi Warukin telah banyak diteliti, karakteristik kematangan batubara di wilayah Barito Selatan, Kalimantan Tengah, memiliki keunikan tersendiri. Adanya aktivitas tektonik lokal dan variasi kedalaman penimbunan di area ini diduga memberikan pengaruh signifikan terhadap nilai reflektansi maseral dan komposisi kimia batubaranya. Tanpa integrasi data geokimia dan petrografi yang mendalam, pemetaan potensi pemanfaatan batubara di wilayah ini menjadi kurang optimal.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis tingkat kematangan batubara Formasi Warukin di Barito Selatan dengan mengintegrasikan data nilai (R_o) dan parameter kimiawi. Hasil dari studi ini diharapkan dapat memberikan pemahaman baru mengenai evolusi termal batubara di Cekungan Barito serta menjadi panduan dalam klasifikasi kualitas batubara untuk keperluan industri di masa depan.

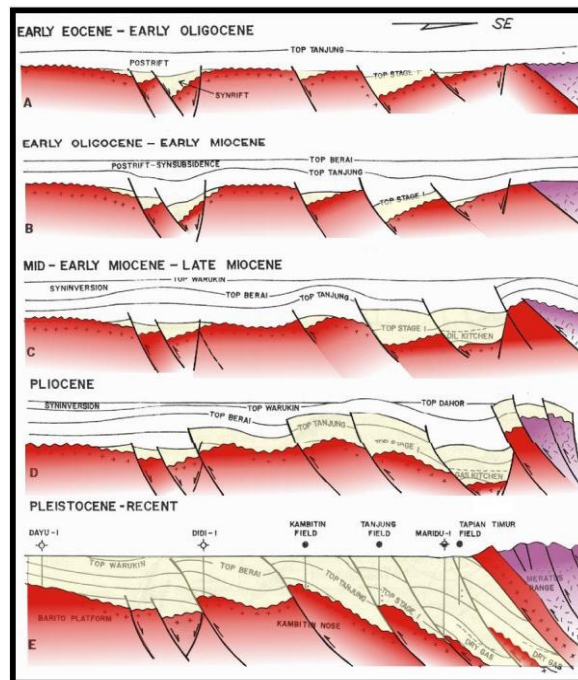
Geologi Regional Daerah Penelitian

Cekungan Barito di Kalimantan Selatan-Tengah adalah cekungan sedimen Kenozoikum tebal di tepi tenggara Paparan Sunda. Secara regional, evolusinya dikontrol oleh rifting Paleogen, pengangkatan Pegunungan meratus, dan inversi tektonik Neogen yang membentuk arsitektur cekungan sekarang



Gambar 1. Kerangka Tektonik Pulau Kalimantan ((Nuey, 1987)

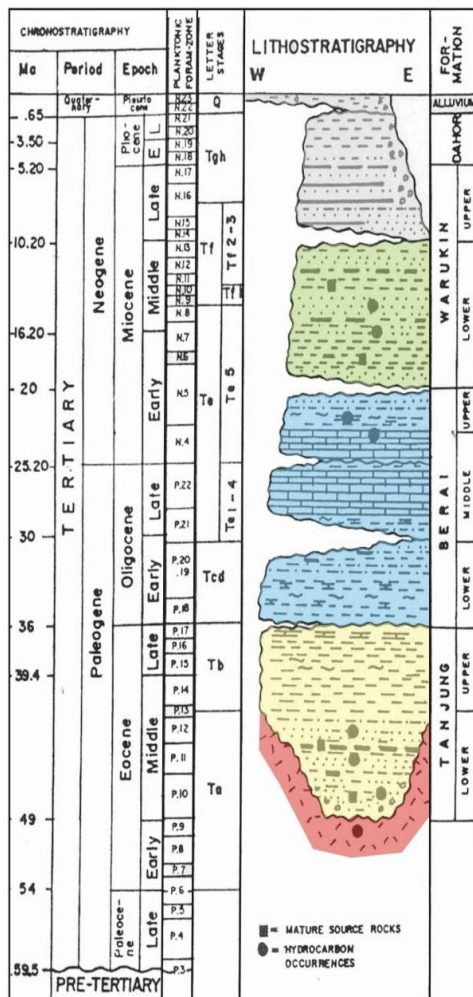
Kerangka tektonik dan struktur regional Cekungan Barito terbentuk sebagai cekungan rift tepi benua yang kemudian mengalami fase kompresi dan inversi. Fase awal: ekstensional dengan sistem horst-graben berarah NW-SE; fase muda: kompresi WNW-ESE yang menginversi sesar normal menjadi sesar naik dan lipatan antiklin (Satyana et al., 1999; Won et al., 2018; Sapiie & Rifiyanto, 2017; Satyana & Silitonga, 1994).



Gambar 2. Proses Tektonik pada Cekungan Barito (Satyana, A., 1994)

Stratigrafi regional dan lingkungan pengendapan dari tua ke muda yaitu Pra-Tersier (Kapur Akhir): karbonat, serpih, batupasir; lingkungan darat di barat dan laut dangkal di timur (Akmaluddin et al., 2019). Formasi Tanjung (Eosen tengah-Oligosen awal): konglomerat, batupasir, serpih, batubara; fluvio-pasang-surut-estuarin-deltaplain; syn-rift dan awal post-rift, source & reservoir utama migas (Witts et al., 2011; Witts et al., 2012; Widada et al., 2024; Daniel et al., 2014; Pratama, 2020; Sumotarto et al., 2017; Farizi, 2013). Formasi Berai/Montalat (Oligosen akhir-Miosen awal): karbonat platform dangkal, lokal fluvio-deltaik (Witts et al., 2011; Widada et al., 2024; Sapiie & Rifiyanto, 2017).

Formasi Warukin (Miosen tengah-akhir): batupasir, lempung, batubara; marginal laut-fluvio-deltaik regresif, pembawa batubara utama (Witts et al., 2011; Widada et al., 2024; Larasati et al., 2024; Sapiie & Rifiyanto, 2017). Formasi Dahor (Miosen akhir-Kuarter): sedimen sungai-delta modern, menutup cekungan (Widada et al., 2024; Sapiie & Rifiyanto, 2017).



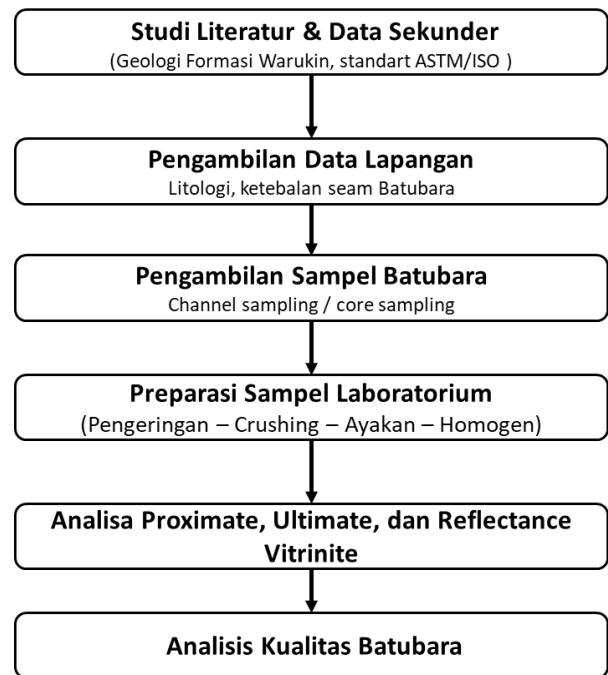
Gambar 3. Stratigrafi Regional dan elemen tektonik Cekungan Barito (satyana et al., 1994)

Metode

Penelitian ini dimulai dengan studi literatur dan pengumpulan data sekunder yang mencakup geologi regional Formasi Warukin serta standar ASTM/ISO. Tahap selanjutnya pengambilan dan pengumpulan data lapangan berupa sampel batubara dari beberapa seam pada Formasi Warukin di Kalimantan Selatan. Sampel

yang diperoleh kemudian dilakukan preparasi di laboratorium untuk memastikan homogenitas dan keterwakilan sampel. Tahap selanjutnya adalah analisis laboratorium yang meliputi analisis proksimat untuk menentukan kadar moisture, volatile matter, ash, dan fixed carbon, serta analisis ultimat untuk mengetahui komposisi unsur kimia batubara yang terdiri dari karbon, hidrogen, nitrogen, sulfur, dan oksigen. Selain itu, dilakukan pengukuran reflektansi vitrinit untuk menentukan tingkat kematangan (rank) batubara.

Data hasil analisis laboratorium selanjutnya diolah dan dianalisis secara komparatif antar seam guna mengidentifikasi variasi kualitas dan karakteristik batubara. Tahap akhir penelitian berupa interpretasi hasil analisis yang dikaitkan dengan kondisi geologi daerah penelitian, sehingga diperoleh kesimpulan mengenai kualitas dan tingkat kematangan batubara Formasi Warukin.



Gambar 4. Diagram Alur Penelitian

Tabel 1. Klasifikasi Batubara oleh standard ASTM D388 1999; dalam Thomas, 2013

Class	Group Name	Fixed Carbon (Dry, %)	Volatile Matter (Dry, %)	Heating Value (Dry basis, kkal/kg)
Anthracite	Meta-anthracite	>98	<2	7740
	Anthracite	92-98	2.0-8.0	8000
	Semi-anthracite	86-92	8.0-15	8300
Bituminous	Low volatile	78-86	14-22	8741
	Medium volatile	78-89	22-31	8640
	High volatile A	<69	>31	8160
	High volatile B	57	57	6750-8160
	High volatile C	54	54	7410-8375
Subbituminous	Subbituminous A	55	55	6880-7540
	Subbituminous B	56	56	6540-7230

	Subbituminous C	53	53	5990-6860
Lignite	Lignite A	52	52	4830-6360
	Lignite B	52	52	<5250

Analisa Ultimate digunakan untuk mengetahui komposisi unsur kimia utama dalam batubara parameter yang diukur yaitu C (karbon) dan H (hidrogen) unsur organik utama batubara, O (oksigen), N (nitrogen) dan S (sulfur/total sulfur), Reflectance Vitrinite salah satu indikator untuk menentukan rank atau kualitas batubara. Semakin tinggi nilai reflektan vitrinite, semakin tinggi rank batubara, yang menunjukkan tingkat kematangan organik yang lebih tinggi (Bullock et al., 2019). Pengukuran reflektansi dengan menghitung persentase cahaya yang dipantulkan dari permukaan vitrinit terpolish pada $\lambda = 546$ nm di bawah minyak imers (Bullock et al., 2019). Pengukuran reflektansi digunakan dalam beberapa sistem klasifikasi batubara internasional. Analisis pantulan vitrinit dari sampel batubara menggunakan standarisasi ASTM D2798-11 (Hackley et al., 2015).

Tabel 3. Rv Standarisasi ASTM D2798-11

Rv rata-rata (%)	Coal Rank
< 0.37	Lignite
0.37 - 0.47	Subbituminous Coal
0.47 - 0.57	High-Volatile C Bituminous Coal
0.57 - 0.71	High-Volatile B Bituminous Coal
0.71 - 1.10	High-Volatile A Bituminous Coal
1.10 - 1.50	Medium-Volatile Bituminous Coal
1.50 - 2.05	Low-Volatile Bituminous Coal
2.05 - 3.00	Semi-anthracite
> 3.00	Anthracite

Hasil dan Diskusi

Penelitian kualitas batubara Formasi Warukin pada area Barito Selatan Kalimantan selatan menggunakan 4 seam batubara yang dilakukan analisis. Analisis yang dilakukan pada penelitian ini dibatasi pada analisis proksimate, ultimate, dan reflaktan vitrinit.

Hasil Analisis Proksimate dan Ultimate

Hasil analisis proksimat pada table 2 menunjukkan bahwa batubara Seam A memiliki kadar air sedang, dengan free moisture sebesar 10,37% (ar) dan total moisture 12,97% (ar). Kandungan volatile matter sebesar 15,4% (adb) menunjukkan kemampuan pembakaran yang cukup baik, sedangkan fixed carbon yang relatif tinggi (56,65% dmmf) berkontribusi terhadap nilai kalor batubara. Kandungan abu tergolong moderat (7,23% adb) dan sulfur relatif rendah (1,41% adb). Nilai kalor batubara Seam A sebesar 1.401 cal/gr

(adb) dan meningkat menjadi 10.684,92 cal/gr (dmmf) setelah dikoreksi dari air dan abu. Analisis ultimat menunjukkan kandungan karbon 58,14% (daf), hidrogen 7,13%, nitrogen rendah (0,63%), serta oksigen relatif tinggi (28,85%).

Table 3. Hasil Analisis Batubara Seam A

Analisis	Unit	basis	Kode sampel	
free moisture	%	ar	30.31	10.37
total moisture	%	ar	35.95	12.97
PROXIMATE				
moisture	%	adb	8.1	2.9
volatile matter	%	adb	41.04	15.4
		dmmf	47.03018	43.93464
fixed carbon	%	adb	45.39	11.48
		dmmf	52.96982	56.06536
ash	%	adb	5.49	70.23
total sulphur	%	adb	0.51	1.41
calorific value	cal/gr	adb	5770	1401
		dmmf	11134.14	10684.92
ULTIMATE				
carbon	%	daf	69.69	58.14
hidrogen	%	daf	4.81	7.13
nitrogen	%	daf	1.27	0.63
sulphur	%	daf	0.58	5.25
oxygen	%	daf	23.64	28.85

Hasil analisis proksimat pada table 3 menunjukkan bahwa batubara pada Seam B memiliki kadar air relatif sedang, dengan free moisture sebesar 16,8% (ar) dan total moisture 23,7% (ar). Kandungan volatile matter sebesar 41,12-43,73% (adb) mengindikasikan tingkat reaktivitas pembakaran yang baik. Nilai fixed carbon tergolong tinggi, yaitu 47,38-47,42% (adb) atau 53,87-57,59% (dmmf), yang berperan signifikan terhadap pembentukan energi. Kandungan abu relatif rendah hingga sedang (1,66-3,19% adb), sedangkan kandungan sulfur total berada pada kisaran 0,51-2,05% (adb). Nilai kalor batubara Seam B pada basis adb berkisar antara 5.853-6.167 cal/gr, dan meningkat menjadi 11.003,64-11.500,54 cal/gr pada basis dmmf, menunjukkan potensi energi yang cukup baik setelah dikoreksi terhadap kadar air dan abu. Analisis ultimat pada basis daf menunjukkan kandungan karbon dominan (69,43-69,61%), hidrogen sebesar 4,71-4,84%, nitrogen relatif rendah (1,20-1,44%), sulfur 0,58-2,25%, serta oksigen 22,10-23,85%. Hasil analisis proksimat menunjukkan bahwa batubara Seam C memiliki kadar air relatif tinggi, dengan free moisture sebesar 29,56% (ar) dan total moisture mencapai 35,31% (ar). Kandungan volatile matter sebesar 41,10% (adb)

atau 46,73% (dmmf) menunjukkan tingkat reaktivitas pembakaran yang cukup baik.

Table 3. Hasil Analisis Batubara Seam B

Analisis	Unit	basis	Kode sampel	
Free Moisture	%	ar	11.91	16.8
Total moisture	%	ar	18.25	23.7
PROKSIMAT				
Moisture	%	adb	7.2	8.32
Volatile	%	adb	43.73	41.12
Matter	%	dmmf	47.24059	46.13112
Fixed Carbon	%	adb	47.42	47.38
	%	dmmf	52.75941	53.86888
Ash	%	adb	1.66	3.19
Total Sulphur	%	adb	2.05	0.51
Calorific Value	cal/gr	adb	6,167	5,853
		dmmf	11,500.54	11,003.64
ULTIMAT				
Carbon	%	daf	69.61	69.43
Hydrogen	%	daf	4.84	4.71
Nitrogen	%	daf	1.2	1.44
Sulphur	%	daf	2.25	0.58
Oxygen	%	daf	22.1	23.85

Nilai fixed carbon tergolong moderat hingga tinggi, yaitu 45,23% (adb) dan 53,27% (dmmf), yang berkontribusi signifikan terhadap pembentukan energi. Kandungan abu sebesar 5,51% (adb) menunjukkan keberadaan material anorganik pada tingkat sedang, sedangkan kandungan sulfur total sebesar 1,77% (adb) tergolong rendah hingga sedang. Berdasarkan analisis ultimate pada *basis dry ash free* (daf), batubara Seam C didominasi oleh karbon sebesar 70,74%, dengan kandungan hidrogen 4,79%, nitrogen 1,33%, sulfur 2,05%, dan oksigen 21,08%. Komposisi unsur tersebut mencerminkan tingkat kematangan batubara yang masih menengah.

Table 4. Hasil Analisis Batubara Seam C

Analisis	Satuan	Basis	Kode Sampel	
Free Moisture	%	ar	29.56	
Total Moisture	%	ar	35.31	
PROKSIMAT				
Moisture	%	adb	8.17	
Volatile Matter	%	adb	41.1	
	%	dmmf	46.72914	
Fixed Carbon	%	adb	45.23	
	%	dmmf	53.27086	
Ash	%	adb	5.51	
Total Sulphur	%	adb	1.77	
Calorific Value	%	adb	5891	
	%	dmmf	11456.03	
ULTIMAT				
Carbon	%	daf	70.74	
Hydrogen	%	daf	4.79	
Nitrogen	%	daf	1.33	
Sulphur	%	daf	2.05	
Oxygen	%	daf	21.08	

Hasil analisis proksimat menunjukkan bahwa batubara Seam D memiliki kadar air relatif tinggi, dengan free moisture sebesar 30,33–37,65% (ar) dan total moisture mencapai 36,30–42,46% (ar). Kandungan volatile matter berkisar antara 41,80–46,84% (adb) atau 47,59–51,81% (dmmf), yang mengindikasikan tingkat reaktivitas pembakaran yang cukup baik. Nilai fixed carbon berada pada kisaran 43,22–45,36% (adb) dan 48,19–52,41% (dmmf), menunjukkan kontribusi yang signifikan terhadap nilai energi batubara. Kandungan abu tergolong rendah hingga sedang (2,24–4,28% adb), sedangkan kandungan sulfur total relatif rendah (0,33–0,48% adb). Nilai kalor batubara Seam D pada basis adb berkisar antara 5.825–5.951 cal/gr, dan meningkat menjadi 11.059,52–11.084,39 cal/gr pada basis dmmf, yang menunjukkan potensi energi yang baik setelah dikoreksi terhadap kandungan air dan abu. Analisis ultimat pada basis dry ash free (daf) menunjukkan kandungan karbon sebesar 68,27–69,86%, hidrogen 4,79–5,17%, nitrogen relatif rendah (0,81–1,58%), sulfur rendah (0,37–0 lock), serta oksigen 23,23–25,39%.

Table 5. Hasil Analisis Batubara Seam D

Analisis	Satuan	Basis	Kode Sampel	
Free Moisture	%	ar	30.33	37.65
Total Moisture	%	ar	36.3	42.46
PROKSIMAT				
Moisture	%	adb	8.57	7.71
Volatile Matter	%	adb	41.8	46.84
	%	dmmf	47.58711	51.81142
Fixed Carbon	%	adb	45.36	43.22
	%	dmmf	52.41289	48.18858
Ash	%	adb	4.28	2.24
Total Sulphur	%	adb	0.48	0.33
Calorific Value	cal/gr	adb	5,825	5,951
	cal/gr	dmmf	11,084.39	11,059.52
ULTIMAT				
Carbon	%	daf	69.86	68.27
Hydrogen	%	daf	4.79	5.17
Nitrogen	%	daf	1.58	0.81
Sulphur	%	daf	0.53	0.37
Oxygen	%	daf	23.23	25.39

Berdasarkan hasil analisis kandungan fixed carbon, volatile matter, dan calorific value pada basis dry mineral matter free (dmmf), klasifikasi peringkat batubara di daerah penelitian ditentukan mengacu pada standar ASTM (1981). Hasil pengujian menunjukkan bahwa batubara pada seluruh seam yang dianalisis, yaitu Seam A, B, C, dan D, memiliki nilai fixed carbon berkisar antara 52,41–56,07%, volatile matter antara 43,93–47,59%, serta nilai kalor antara 11.003,64–11.500,54 cal/gr.

Karakteristik tersebut secara konsisten menunjukkan bahwa seluruh seam berada dalam rentang klasifikasi Subbituminous A. Keseragaman

peringkat batubara ini mengindikasikan tingkat kematangan batubara yang relatif homogen di daerah penelitian, dengan kualitas energi menengah dan kandungan zat terbang yang masih cukup tinggi. Kondisi ini mencerminkan proses pematubaraan yang berlangsung pada lingkungan geologi yang relatif seragam.

Kematangan Batubara Daerah Penelitian

Kematangan batubara merupakan parameter penting yang mencerminkan tingkat evolusi termal material organik selama proses pengendapan dan penguburan. Dalam penelitian ini, tingkat kematangan batubara dievaluasi berdasarkan hubungan antara peringkat batubara dan nilai reflektansi vitrinit ($R_o\%$), yang keduanya saling berkorelasi erat dan umum digunakan dalam studi batubara.

Penentuan peringkat batubara dilakukan berdasarkan data yang diperoleh dari empat seam batubara, dengan mengacu pada hasil analisis proksimat yang meliputi kandungan fixed carbon, volatile matter, dan nilai kalori. Berdasarkan hasil analisis proksimat terhadap empat seam batubara (Seam A, B, C, dan D), seluruh sampel menunjukkan karakteristik peringkat batubara Subbituminous A. Klasifikasi ini ditentukan berdasarkan nilai fixed carbon, volatile matter, dan nilai kalori (calorific value) dalam kondisi dry mineral matter free (dmmf), yang secara umum mencerminkan tingkat kematangan batubara rendah hingga menengah.

Seam A menunjukkan nilai fixed carbon berkisar antara 52,97–56,07% dmmf dengan volatile matter antara 43,93–47,03% dmmf serta nilai kalori berkisar 10.684–11.134 kcal/kg. Variasi ini mengindikasikan tingkat kematangan yang relatif lebih berkembang dibandingkan seam lainnya, khususnya pada sampel dengan kandungan fixed carbon tertinggi. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa Seam A telah mengalami proses pematubaraan yang sedikit lebih intensif, ditandai dengan peningkatan derajat karbonisasi dan penurunan kandungan zat terbang.

Seam B memiliki nilai fixed carbon sebesar 52,76–53,87% dmmf dan volatile matter antara 46,13–47,24% dmmf, dengan nilai kalori tertinggi mencapai 11.500 kcal/kg. Nilai kalori yang relatif lebih tinggi ini mengindikasikan tingkat kematangan yang cukup baik dalam kategori subbituminous. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun kandungan fixed carbon tidak jauh berbeda dengan seam lainnya, efisiensi energi yang dihasilkan Seam B relatif lebih tinggi, yang mencerminkan kualitas batubara yang lebih baik dalam satuan peringkat yang sama.

Seam C menunjukkan nilai fixed carbon sebesar 53,27% dmmf dan volatile matter sebesar 46,73% dmmf, dengan nilai kalori sekitar 11.456 kcal/kg. Parameter ini

menunjukkan tingkat kematangan yang relatif homogen dan berada pada kisaran tipikal batubara subbituminous A. Seam ini mencerminkan kondisi pematubaraan yang stabil tanpa indikasi pengaruh termal berlebih atau perbedaan signifikan dalam sejarah penguburan.

Seam D memiliki nilai fixed carbon sebesar 52,41% dmmf dan volatile matter sebesar 47,59% dmmf, serta nilai kalori sebesar 11.084 kcal/kg. Nilai volatile matter yang relatif lebih tinggi dan nilai kalori yang lebih rendah dibandingkan seam lainnya mengindikasikan tingkat kematangan yang sedikit lebih rendah, meskipun masih berada dalam klasifikasi subbituminous A. Hal ini menunjukkan bahwa Seam D kemungkinan mengalami kondisi penguburan atau pemanasan yang relatif lebih rendah dibandingkan seam lainnya.

Secara keseluruhan seam menunjukkan adanya perbedaan tingkat kematangan yang bersifat minor, namun masih berada dalam satu peringkat batubara yang sama. Keseragaman peringkat ini mengindikasikan bahwa proses pematubaraan pada keempat seam berlangsung dalam sistem geologi yang relatif seragam, dengan variasi lokal yang dipengaruhi oleh perbedaan ketebalan seam, kedalaman penguburan, atau kondisi lingkungan pengendapan. Dengan demikian, seluruh seam dapat dikategorikan sebagai batubara berkematangan rendah hingga menengah yang memiliki karakteristik energi dan kualitas yang relatif homogen.

Table 6. Peringkat batubara daerah penelitian (ASTM 1981)

Seam	Fixed Carbon dmmf	Matter Value dmmf	Calorific Volatile dmmf	Peringkat batubara
A	52.96982	47.03018	11134.14	Subbituminous
	56.06536	43.93464	10684.92	A
B	52.75941	47.24059	11500.54	Subbituminous
	53.86888	46.13112	11003.64	A
C	53.27086	46.72914	11456.03	Subbituminous
				A
D	52.41289	47.58711	11084.39	Subbituminous
				A

Peringkat batubara pada daerah penelitian ditentukan berdasarkan nilai reflektansi vitrinit ($R_o\%$) dengan mengacu pada standar klasifikasi Ward (1984) dalam Thomas (2013). Parameter reflektansi vitrinit digunakan secara luas sebagai indikator tingkat kematangan termal dan peringkat batubara karena bersifat relatif stabil terhadap pengaruh lingkungan pengendapan maupun proses diagenesis.

Secara umum, berdasarkan nilai reflectance vitrinit batubara pada daerah penelitian didominasi oleh peringkat Subbituminous, dengan kemunculan

lokal peringkat yang lebih tinggi pada seam tertentu. Penentuan ini didasarkan pada nilai rata-rata reflektansi vitrinit (Rv_{max}) yang berkisar antara 0,37% hingga 0,61%.

Table 7. Coal Rank of the Research Area Based on Vitrinite Reflectance

Seam	Peringkat Batubara	mean reflektan vitrinit (% Rv_{random})	kisaran (%)	standart deviasi
A	Subbituminous-	0.42	0.37-0.49	0.02
	High volatile bituminous C	0.61	0.52-0.69	0.04
B	Subbituminous	0.41	0.34-0.49	0.04
C	Subbituminous	0.45	0.39-0.52	0.03
D	Subbituminous	0.41	0.37-0.5	0.03
	Subbituminous	0.45	0.4-0.54	0.03
		0.37	0.31-0.45	0.04

Seam A: Menunjukkan variasi peringkat yang paling signifikan. Sebagian sampel berada pada tingkat Subbituminous (Rv_{max} 0,42%), namun ditemukan nilai Rv_{max} mencapai 0,61% yang mengindikasikan peningkatan peringkat menjadi High Volatile Bituminous C. Hal ini menunjukkan adanya pengaruh maturitas termal yang lebih tinggi secara lokal pada lapisan ini.

Seam B: Memiliki nilai reflektan rata-rata 0,41% - 0,45%, nilai ini secara konsisten menempatkan Seam B pada peringkat Subbituminous.

Seam C: Serupa dengan Seam B, lapisan ini memiliki nilai rata-rata reflektan 0,41% (dengan kisaran 0,37-0,5%), yang mengukuhkan posisinya dalam kategori Subbituminous.

Seam D: Memiliki variasi nilai rata-rata dari 0,37% hingga 0,45%. Nilai terendah (0,37%) berada pada batas transisi antara Lignite (batubara cokelat) dan Subbituminous, namun secara keseluruhan masih diklasifikasikan sebagai Subbituminous.

Kesimpulan

Penelitian ini berhasil mengkarakterisasi tingkat kematangan batubara Formasi Warukin di wilayah Barito Selatan, Kalimantan Tengah, melalui integrasi analisis geokimia (proksimat dan ultimat) serta pengukuran reflektansi vitrinit. Berdasarkan hasil analisis proksimat pada basis dry mineral matter free (dmmf), seluruh seam batubara yang dianalisis (Seam A, B, C, dan D) menunjukkan nilai fixed carbon berkisar antara 52,41–56,07%, volatile matter antara 43,93–47,59%, serta nilai kalor antara 11.003,64–11.500,54 cal/gr. Parameter-parameter tersebut secara konsisten mengklasifikasikan seluruh seam ke dalam peringkat Subbituminous A menurut standar ASTM.

Keseragaman peringkat ini mengindikasikan tingkat kematangan batubara yang relatif homogen dengan kualitas energi menengah. Hasil pengukuran reflektansi vitrinit menunjukkan nilai rata-rata R_o (Rv_{random}) berkisar antara 0,37% hingga 0,61%. Sebagian besar seam berada dalam kategori Subbituminous, sementara pada Seam A ditemukan peningkatan lokal nilai reflektansi hingga kategori High Volatile Bituminous C, yang mengindikasikan adanya pengaruh pematangan termal yang lebih tinggi secara setempat. Variasi nilai reflektansi ini menunjukkan bahwa meskipun peringkat batubara relatif seragam. Berdasarkan analisa geokimia dan reflektansi vitrinit menunjukkan korelasi yang baik antara peningkatan nilai fixed carbon dan nilai R_o %, yang menegaskan bahwa reflektansi vitrinit merupakan indikator yang andal dalam menentukan tingkat kematangan batubara Formasi Warukin. Secara keseluruhan, batubara di daerah penelitian dikategorikan sebagai batubara berkematangan rendah hingga menengah yaitu Subbituminous.

Ucapan Terimakasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada seluruh pihak yang telah memberikan dukungan dan kontribusi dalam pelaksanaan penelitian ini. Penulis juga mengapresiasi dukungan laboratorium yang telah membantu dalam analisis geokimia dan pengukuran reflektansi vitrinit, sehingga penelitian ini dapat diselesaikan dengan baik. Terima kasih disampaikan kepada rekan-rekan peneliti serta semua pihak yang telah memberikan masukan, diskusi, dan dukungan teknis selama proses penelitian dan penyusunan manuskrip. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi bagi pengembangan ilmu kebumihan, khususnya dalam kajian karakteristik dan kematangan batubara di Cekungan Barito.

Referensi

- Ali, B., Ibraheem, F., Jassim, A., & Jassim, H. (2020). The Proximate Analysis method for the Composition Determination of Different Coal Types. 2020 6th International Engineering Conference "Sustainable Technology and Development" (IEC), 91-96. <https://doi.org/10.1109/iec49899.2020.9122917>.
- Behnamfard, A., & Alaei, R. (2017). Estimation of coal proximate analysis factors and calorific value by multivariable regression method and adaptive neuro-fuzzy inference system (ANFIS). *International Journal of Mining & GeoEngineering*, 51, 29-35. <https://doi.org/10.22059/ijmge.2017.62150>
- Bullock, L., Parnell, J., Muirhead, D., Armstrong, J., Schito, A., & Corrado, S. (2019). A thermal maturity map based on vitrinite reflectance of British coals. *Journal of the Geological Society*, 176, 1136 - 1142. <https://doi.org/10.1144/jgs2019-055>

- Donahue, C., & Rais, E. (2009). Proximate Analysis of Coal. *Journal of Chemical Education*, 86, 222-224. <https://doi.org/10.1021/ed086p222>
- Hackley, P., & Lewan, M. (2018). Understanding and distinguishing reflectance measurements of solid bitumen and vitrinite using hydrous pyrolysis: Implications to petroleum assessment. *AAPG Bulletin*. <https://doi.org/10.1306/08291717097>
- Heryanto, R., & Panggabean, H. (2013). Lingkungan Pengendapan Formasi Pembawa Batuabara Warukin Di Daerah Kandungan Dan Sekitarnya, Kalimantan Selatan. **, 23, 93-103. <https://doi.org/10.33332/jgsm.geologi.23.2.93-103>
- Karacan, C., & Olea, R. (2018). Mapping of compositional properties of coal using isometric log-ratio transformation and sequential Gaussian simulation - A comparative study for spatial ultimate analyses data. *Journal of geochemical exploration*, 186, 24-35. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2017.11.022>
- Kusnama, K. (2008). Batubara Formasi Warukin di daerah Sampit dan sekitarnya, Kalimantan Tengah. *Indonesian Journal on Geoscience*. <https://doi.org/10.17014/ijog.3.1.11-22>
- Larasati, S., Anggara, F., Amijaya, H., & Rahmat, S. (2024). Microfacies and Paleomire Reconstruction of Coal in the Warukin Formation, Barito Basin, Kandungan Area, South Kalimantan. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1373. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1373/1/012061>
- Satyana, A., Nugroho, D., & Surantoko, I. (1999). Tectonic controls on the hydrocarbon habitats of the Barito, Kutei, and Tarakan Basins, Eastern Kalimantan, Indonesia: major dissimilarities in adjoining basins. *Journal of Asian Earth Sciences*, 17, 99-122. [https://doi.org/10.1016/s0743-9547\(98\)00059-2](https://doi.org/10.1016/s0743-9547(98)00059-2)
- Satyana, A., & Silitonga, P. (1994). Tectonic Reversal in East Barito Basin, South Kalimantan: Consideration of the Types of Inversion Structures and Petroleum System Significance. **, 57-74. <https://doi.org/10.29118/ipa.623.57.74>
- Sofyan, T., Wilogo, A., Saputra, A., Irijantoko, R., Misdiyanta, P., & Trianda, O. (2025). A Comparative Study of Coal Quality: Insights from Actual and Proximate Analysis Models. *International Journal of Hydrological and Environmental for Sustainability*. <https://doi.org/10.58524/ijhes.v4i1.538>
- Speight, J. (2015). 6. Ultimate Analysis. **, <https://doi.org/10.1002/9781119037699.ch6>
- Thomas, L. (2013). *Coal geology* (2nd ed). Chichester, West Sussex ; Hoboken, NJ: John Wiley & Sons.
- Witts, D., Hall, R., Morley, R., & BouDagher-Fadel, M. (2011). Stratigraphy and Sediment Provenance, Barito Basin, Southeast Kalimantan. **, <https://doi.org/10.29118/ipa.1894.11.g.054>