

Kontrol Fasies dan Lingkungan Pengendapan terhadap Kualitas Batubara Formasi Warukin di Daerah Haruai, Tabalong, Kalimantan Selatan

Facies and Depositional Environment Controls on Coal Quality of the Warukin Formation in the Haruai Area, Tabalong, South Kalimantan

Nodyka Elkawi Hawinu^{1*}, Muhammad Fatih Qodri^{1,2}, Andre Patriot Tampubolon¹

^{1*}*Jurusan Teknik Geologi, Institut Teknologi Nasional Yogyakarta*

²*Department of Earth Resources Engineering, Faculty of Engineering, Kyushu University, Japan*

³*PT. Bara Pramulya Abadi, Serandang, Kec. Haruai, Kabupaten Tabalong, Kalimantan Selatan 71572*

**Email Korespondensi : nodykaelkawih@gmail.com*

Email : fatihqodri@itny.ac.id

ABSTRAK

Endapan batubara pada Formasi Warukin di Kalimantan Selatan terbentuk dalam sistem deltaik yang kompleks, di mana variasi fasies dan lingkungan pengendapan berperan penting dalam mengontrol sebaran serta kualitas batubara. Namun, hubungan antara fasies pengendapan dan parameter kualitas batubara pada Formasi Warukin di wilayah Haruai masih belum banyak dikaji secara mendalam. Pemahaman keterkaitan tersebut menjadi penting untuk mengetahui faktor geologi yang memengaruhi mutu batubara dan persebaran seam-nya. Analisis dilakukan berdasarkan data log bor (gamma ray dan densitas) serta deskripsi core untuk mengidentifikasi fasies dan lingkungan pengendapan. Hasil interpretasi menunjukkan tiga fasies utama, yaitu batupasir lempungan (Crevasse Splay–Interdistributary Bay), batulempung karbonan (Interdistributary Bay), dan batubara (Swamp). Secara keseluruhan, lingkungan pengendapan diinterpretasikan sebagai Transitional Lower Delta Plain yang dipengaruhi oleh aktivitas pasang surut dan sedimentasi halus. Analisis proksimat memperlihatkan nilai kalor batubara pada seam 6–9 berkisar antara 4968–5206 kcal/kg dengan kadar sulfur rendah (rata-rata 0,48%) dan kadar abu 18,38%. Karakteristik tersebut menunjukkan jenis batubara High Volatile C Bituminous hingga Subbituminous B Coal. Variasi litofasies dan dominasi sedimen halus pada lingkungan Transitional Lower Delta Plain berimplikasi terhadap penurunan nilai kalori akibat meningkatnya material pengotor selama proses pengendapan.

Kata kunci: Formasi Warukin, Fasies, Kualitas Batubara, Lingkungan Pengendapan

ABSTRACT

The coal deposits of the Warukin Formation in South Kalimantan were formed within a complex deltaic system, where variations in facies and depositional environments play a key role in controlling the distribution and quality of coal. However, the relationship between depositional facies and coal quality parameters in the Warukin Formation, particularly in the Haruai area, remains poorly understood. Understanding this relationship is crucial to determine the geological factors influencing coal quality and seam distribution. The analysis was conducted based on borehole log data (gamma-ray and density) and core descriptions to identify facies and depositional environments. The interpretation results reveal three main facies: clayey sandstone (Crevasse Splay–Interdistributary Bay), carbonaceous claystone (Interdistributary Bay), and coal (Swamp). Overall, the depositional environment is interpreted as a Transitional Lower Delta Plain, influenced by tidal activity and fine sedimentation. Proximate analysis shows that the calorific value of coal from seams 6–9 ranges between 4968–5206 kcal/kg, with a low sulfur content (average 0.48%) and an ash content of 18.38%. These characteristics correspond to High Volatile C Bituminous to Subbituminous B Coal. Variations in lithofacies and the dominance of fine sediments in the Transitional Lower Delta Plain environment are interpreted to have caused a decrease in calorific value due to an increase in detrital material during deposition.

Keyword : Warukin Formation, Facies, Coal Quality, Sedimentation Environment

PENDAHULUAN

Batubara merupakan salah satu sumber daya energi fosil utama yang terbentuk dari sisa-sisa tumbuhan yang mengalami proses pembatubaraan (coalification) selama jutaan tahun di bawah kondisi tekanan dan suhu tinggi serta minim oksigen [1]. Di Indonesia, batubara menjadi komoditas strategis nasional karena

ketersediaannya yang melimpah dan kontribusinya terhadap perekonomian, baik melalui ekspor maupun sebagai sumber energi domestik [2]. Menurut Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM, 2023), wilayah Kalimantan menyumbang lebih dari 60% total produksi batubara nasional. Batubara di wilayah iniumumnya berperingkat rendah hingga menengah (low to medium rank coal) dengan kadar abu dan sulfur yang rendah, sehingga memiliki nilai ekonomi tinggi di pasar ekspor [3].

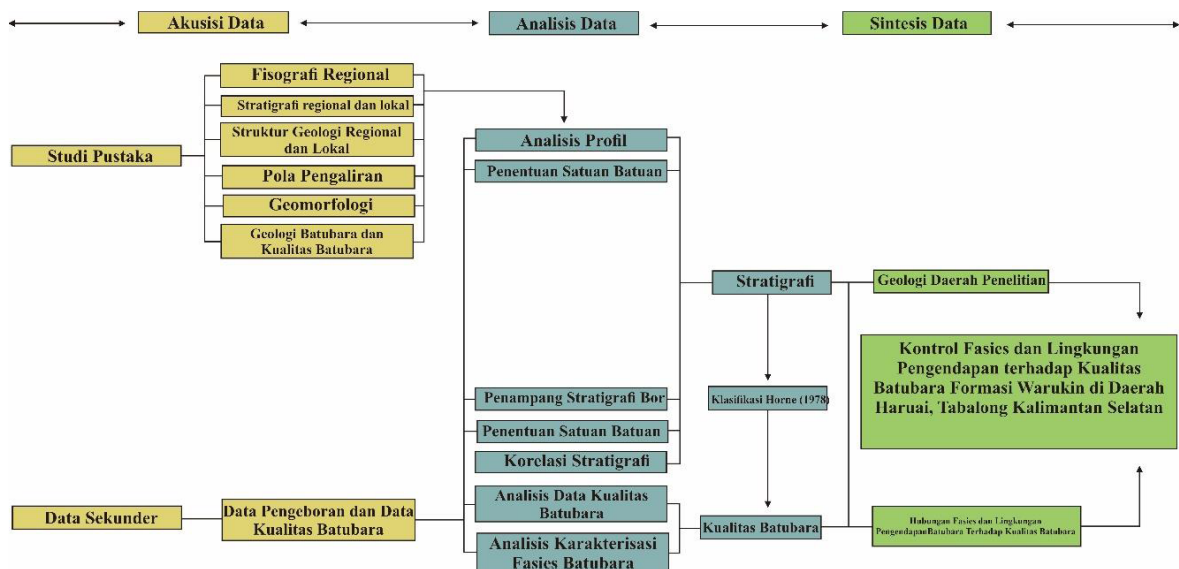
Kalimantan Selatan merupakan salah satu provinsi utama penghasil batubara di Indonesia, dengan area tambang yang tersebar di Kabupaten Tanah Laut, Tapin, Banjar, dan Tabalong. Secara geologi, pembentukan batubara di wilayah ini terutama dikontrol oleh kondisi pengendapan Formasi Warukin dan Formasi Tanjung, yang dikenal kaya akan lapisan batubara tebal dan berkualitas baik [4]. Formasi Warukin khususnya merupakan salah satu formasi satuan batuan pembawa batubara utama di Kalimantan Selatan dengan potensi sumber daya yang besar [5].

Kualitas batubara pada Formasi Warukin menunjukkan variasi yang cukup signifikan antar lokasi. Perbedaan ini diduga kuat dipengaruhi oleh perubahan fasies pengendapan dan dinamika lingkungan saat pembentukan lapisan batubara. Faktor-faktor seperti tipe vegetasi penyusun gambut, kondisi oksidasi-reduksi, tingkat suplai sedimen, serta perubahan muka air laut (relative sea level changes) berperan dalam menentukan karakteristik litologi dan kualitas batubara, seperti kadar abu, sulfur, dan nilai kalor. Namun, hubungan antara fasies pengendapan dengan kualitas batubara pada Formasi Warukin, khususnya di daerah Haruai, Tabalong, masih belum dipahami secara menyeluruh. Sebagian besar penelitian batubara di Kalimantan Selatan lebih berfokus pada aspek geokimia dan karakteristik fisik batubara, sedangkan kajian mengenai kontrol fasies dan evolusi lingkungan pengendapan terhadap kualitas batubara sering diabaikan. Padahal, pemahaman terhadap hubungan tersebut sangat penting untuk mengetahui proses terbentuknya seam batubara serta mendukung interpretasi stratigrafi dan eksplorasi sumber daya yang lebih akurat.

Penelitian ini difokuskan untuk menganalisis fasies pengendapan dan lingkungan pembentukan batubara Formasi Warukin di daerah Haruai, Kabupaten Tabalong, Kalimantan Selatan, dengan menggunakan pendekatan analisis litofasies berdasarkan data hasil pemoran (borehole logging). Hasil studi ini diharapkan dapat menjelaskan kontrol geologi terhadap variasi kualitas batubara dan memberikan gambaran komprehensif mengenai evolusi lingkungan pengendapan Formasi Warukin, sehingga dapat menjadi acuan dalam kegiatan eksplorasi dan evaluasi sumber daya batubara di wilayah sejenis.

METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah menggunakan pendekatan klasifikasi dari [6] berdasarkan log bor yaitu gamma ray, densitas, dan data core hasil pengeboran. Bahan tersebut dideskripsikan sesuai hasil pengamatan dari data yang ada. Kemudian, deskripsi detail lingkungan pengendapan dibuat dan diklasifikasikan melalui pendekatan klasifikasi [6].



Gambar. 1 Diagram alir penelitian.

HASIL DAN ANALISIS

Fasies dan Lingkungan Pengendapan

Analisis fasies dan lingkungan pengendapan batubara di daerah penelitian menggunakan data lubang bor pada XXX_19 dan XXX_21. Data yang digunakan yaitu data log gamma ray dan log densitas. Batubara ditunjukkan oleh nilai gamma ray yang rendah (< 10 CPS) dan densitas yang relatif tinggi (> 900 CPS), sedangkan deskripsi detail litologi di peroleh dari data core yang sampelnya diambil dari lubang bor, dimana suksesi ukuran besar butir dapat diidentifikasi dengan gamma ray.

Selanjutnya pemerian setiap fasies batubara berdasarkan lubang bor, dijelaskan seperti di bawah ini.

1. XXX_19

Lubang bor XXX_19 memiliki kedalaman yaitu 60 meter. Terdapat 2 fasies yang mempengaruhi keterbentukan batubara yaitu (Gambar 2):

1. Fasies A

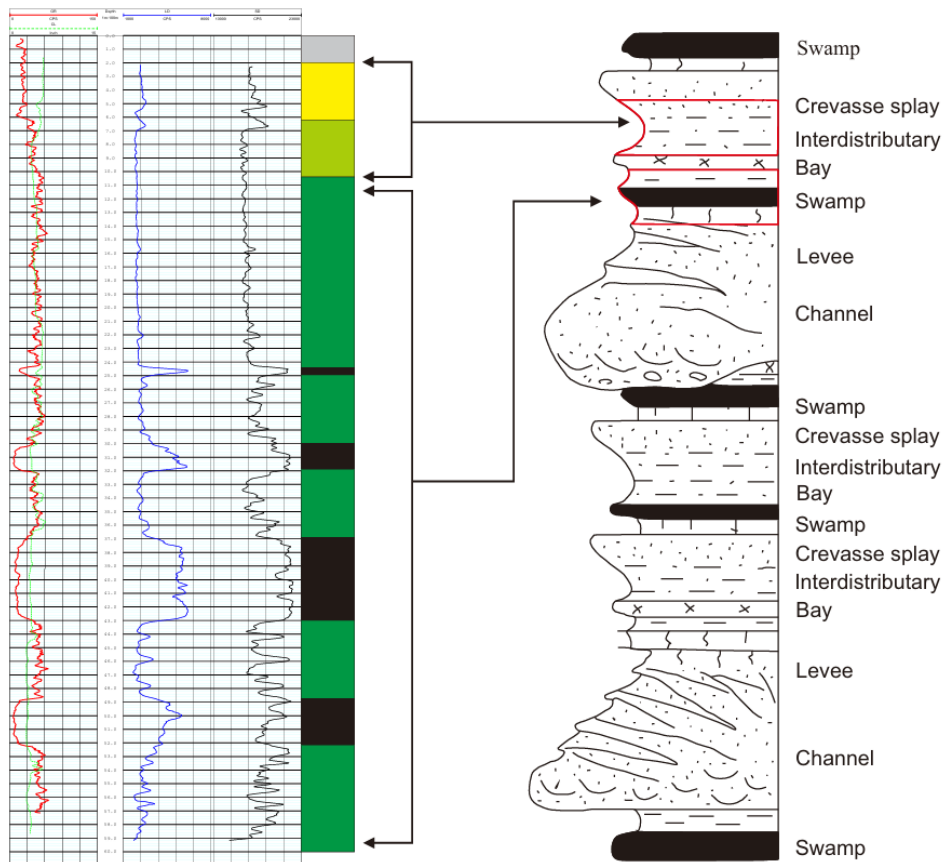
Fasies ini berada pada kedalaman 2 hingga 10,40 meter dengan ketebalan 8,4 meter. Fasies ini didominasi oleh sandy claystone (batupasir lempungan) dengan warna abu-abu, ukuran butir batulanau – batupasir sangat halus, membundar, sortasi baik, kemas tertutup batuan ini mencerminkan Transisi endapan Interdistributary Bay ke endapan Crevasse Splay (Horne, 1978).

2. Fasies B

Fasies ini berada pada kedalaman 10,40 hingga 60 meter. Fasies ini merupakan perselingan batulempung dengan batubara (seam 6, 7, 8 dan 9). Batulempung berwarna coklat kehitaman, dengan ukuran butir lempung – lanau, membundar, sortasi baik, kemas tertutup dengan komposisi karbonan. Batuan ini mencerminkan endapan Interdistributary Bay.

3. Fasies C

Fasies berada pada kedalaman 24,42 – 24,98 meter, 30,09 – 31,98 meter, 36,95 – 43,03 meter dan 48,77 – 52,22 meter. Fasies ini merupakan batubara yang terselingkan dengan lapisan batulempung. Menurut [6] batubara akan selalu mencerminkan endapan Swamp.



Gambar. 2 Hasil korelasi log bor XXX_19 dan fasies. (kiri lubang bor, kanan fasies).

2. XXX_21

Lubang bor BWS_21 memiliki kedalaman yaitu 60 meter. Terdapat 2 fasies yang mempengaruhi keterbentukan batubara yaitu (Gambar 3):

1. Fasies A

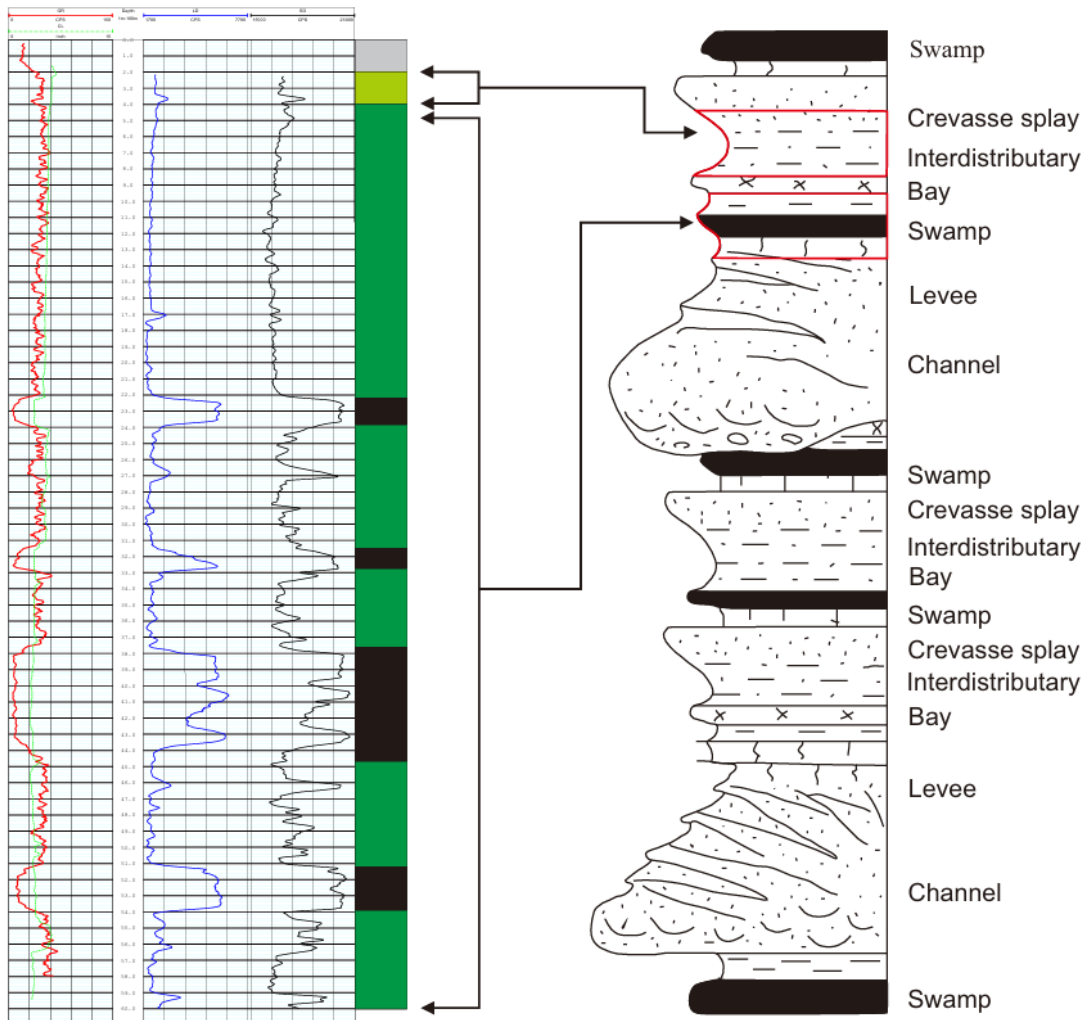
Fasies ini berada pada kedalaman 2 – 4 meter dan memiliki ketebalan 2 meter. Fasies ini terdiri atas sandy claystone (batupasir lempungan) dengan warna abu-abu, ukuran butir batulanau – batupasir sangat halus, membundar, sortasi baik, kemas tertutup batuan ini mencerminkan endapan Interdistributary Bay (Horne, 1978).

2. Fasies B

Fasies ini berada pada kedalaman 4 hingga 60 meter. Fasies ini merupakan perselingan batulempung dengan batubara (seam 6, 7, 8 dan 9). Batulempung berwarna coklat kehitaman, dengan ukuran butir lempung – lanau, membundar, sortasi baik, kemas tertutup dengan komposisi karbonan. Batuan ini mencerminkan endapan Interdistributary Bay.

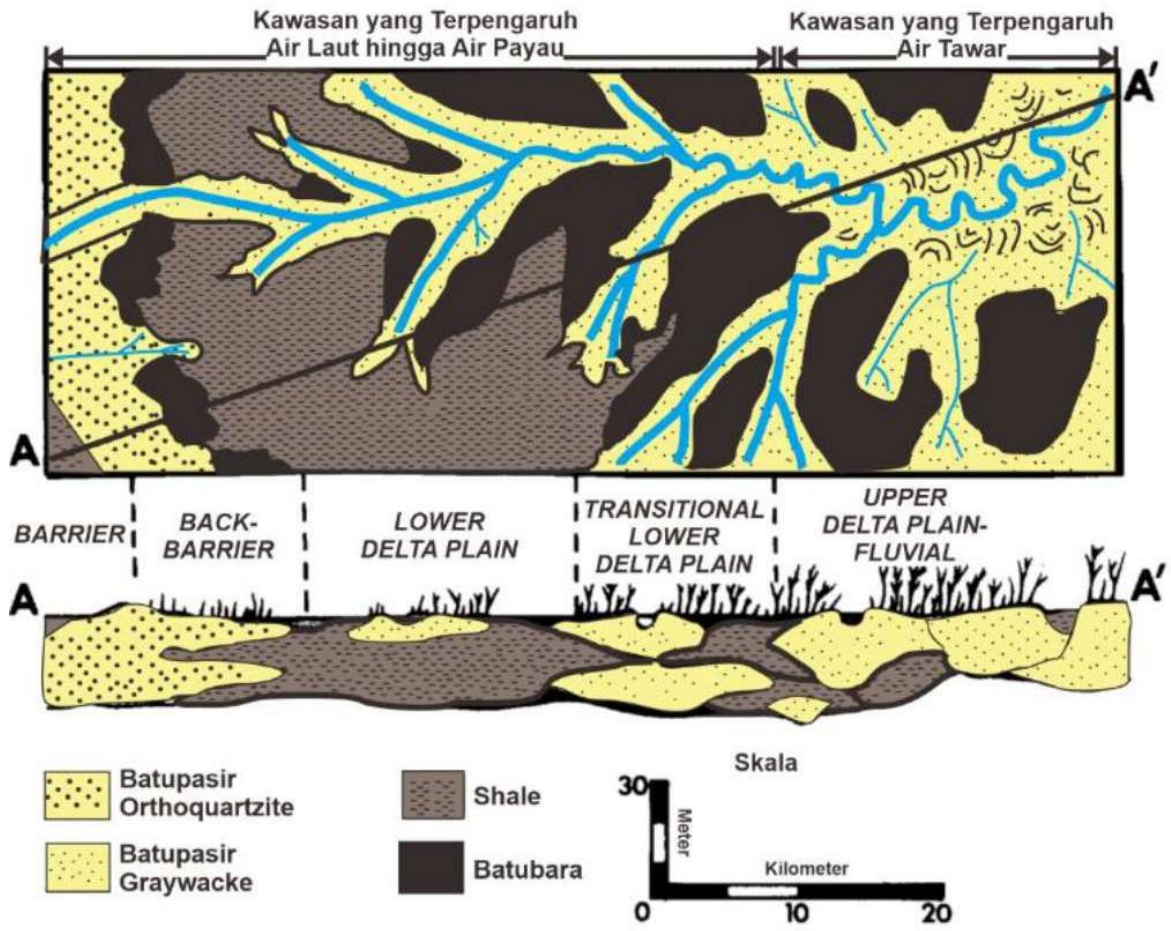
3. Fasies C

Fasies berada pada kedalaman 22,16 – 23,95 meter, 31,58 – 32,88 meter, 37,60 – 43,68 meter dan 51,18 – 53,95 meter. Fasies ini merupakan batubara yang terselingkan dengan lapisan batulempung. Menurut horne (1978) batubara akan selalu mencerminkan endapan Swamp.



Gambar. 3 Hasil korelasi log bor XXX_21 dan fasies. (kiri lubang bor, kanan fasies).

Hasil dari analisis data, lokasi penelitian memiliki fasies diantaranya yaitu Swamp, Interdistributary Bay dan Crevasse splay. Maka dapat diinterpretasikan bahwa lokasi penelitian masuk kedalam daerah pengendapan Delta pada zona Transitional Lower Delta Plain (Gambar 4).



Gambar. 4 Lingkungan pengendapan Delta daerah penelitian (ditunjukkan oleh kotak merah) menurut [6].

Dengan diketahuinya tipe fasies dan lingkungan pengendapan tersebut dapat dikembangkan rekonstruksi fasies dalam skala yang lebih besar, sehingga dapat direkomendasikan strategi eksplorasi dan eksploitasi batubara selanjutnya.

Analisis Proksimat Batubara Seam 6

Analisa proksimat ini digunakan untuk mengetahui nilai kualitas dari batubara yang memiliki parameter seperti: fixed carbon (FC), volatile matter (VM), Calorivic value (CV), total moisture (TM), total sulfur (TS), ash content (Ash), [7]. Berikut ini merupakan hasil dari analisa proksimat pada seam 6.

Tabel. 1 Hasil analisa proksimat pada seam 6.

nama bor	seam	analisa proksimat						CV (adb) (Kcal/kg)
		TM (%)	IM (%)	VM (%)	FC (%)	Ash (%)	TS (%)	
XXX 19_01	Seam 6	27.65	12.07	45.34	33.23	9.36	0.49	5383
XXX 20_01	Seam 6	38.8	19.15	43.7	32.75	4.40	0.42	5219
XXX 21-01	Seam 6	40.23	19.93	41.39	33.4	41.39	0.54	5017
Rata-rata		35.56	17.05	43.48	33.13	18.38	0.48	5206

Berdasarkan hasil dari analisa yang telah di lakukan pada batubara seam 6 didapatkan nilai rata-rata Calorivic value (adb) sebesar 5206 kcal/kg (Tabel 1).

Klasifikasi batubara menurut ASTM D-388 berfungsi untuk mengetahui kelas dan jenis batubara. Metode klasifikasi ASTM D-388 terdiri dari mencari fixed carbon pada saat batubara kering tanpa mineral pengotor (dmmf). Setelah itu mencari Volatile matter dengan keadaan batubara tanpa mineral pengotor (dmmf) (Gambar 5). Terakhir menentukan nilai kalori dengan keadaan batubara tanpa mineral pengotor (dmmf) setelah

itu angka dimasukan kedalam tabel klasifikasi dan diketahui kelas dan jenis batubaranya. Berikut dibawah ini rumus metode ASTM D-388,

$$CV (dmmf) = \frac{(1.8185 \times CV (adb) - (50 \times TS)) \times 100}{100 - ((1.08 \times A) + (0.55 \times TS))}$$

Gambar 5. Rumus metode ASDM D-388 (dalam menentukan Calorivic value (CV) Btu/lb) (ASTM, 1981).

Keterangan:

CV (dmmf) : Nilai kalori saat batubara kering tanpa mineral pengotor.

TS : Total sulfur dimana batubara kehilangan air bebas.

A : Debu yang mempengaruhi kualitas batubara.

Perhitungan ASTM D-388 pada batubara seam 6:

$$\begin{aligned} CV (dmmf) &= \frac{(1.8185 \times 5206 - (50 \times 0.48)) \times 100}{100 - ((1.08 \times 18.38) + (0.55 \times 0.4))} \\ &= (9467 - 24) \times 100 = 944.300 \\ &= 100 - (19.85 + 0.22) = 80.37 \\ &= 944.300 \div 80.37 = \mathbf{11.750 \text{ Btu/lb}} \end{aligned}$$

Tabel. 2 Klasifikasi kelas batubara Seam 6 berdasarkan Calorivic value (ASTM, 1981).

TABLE 1 Classification of Coals by Rank^A

Class/Group	Fixed Carbon Limits (Dry, Mineral-Matter-Free Basis), %		Volatile Matter Limits (Dry, Mineral-Matter-Free Basis), %		Gross Calorific Value Limits (Moist, ^B Mineral-Matter-Free Basis)				Agglomerating Character
	Equal or Greater Than	Less Than	Greater Than	Equal or Less Than	Btu/lb		Mj/kg ^C		
					Equal or Greater Than	Less Than	Equal or Greater Than	Less Than	
Anthracitic:									
Meta-anthracite	98	2	} nonagglomerating
Anthracite	92	98	2	8	...	...	...	...
Semianthracite ^D	86	92	8	14	...	...	...	...
Bituminous:									
Low volatile bituminous coal	78	86	14	22	} commonly agglomerating ^E
Medium volatile bituminous coal	69	78	22	31	...	...	...	...
High volatile A bituminous coal	...	69	31	...	14 000 ^F	...	32.6	...	
High volatile B bituminous coal	...	...	...	...	13 000 ^F	14 000	30.2	32.6
High volatile C bituminous coal	...	...	...	...	11 500 10 500	13 000 11 500	26.7 24.4	30.2 26.7
Subbituminous:									
Subbituminous A coal	10 500	11 500	24.4	26.7	} nonagglomerating
Subbituminous B coal	...	...	...	...	9 500	10 500	22.1	24.4
Subbituminous C coal	...	...	...	...	8 300	9 500	19.3	22.1
Lignitic:									
Lignite A	6 300 ^G	8 300	14.7	19.3	}
Lignite B	...	...	...	...	...	6 300	...	14.7

^AThis classification does not apply to certain coals, as discussed in Section 1.
^BMoist refers to coal containing its natural inherent moisture but not including visible water on the surface of the coal.
^CMegajoules per kilogram. To convert British thermal units per pound to megajoules per kilogram, multiply by 0.002 326.
^DIf agglomerating, classify in low volatile group of the bituminous class.
^EIt is recognized that there may be nonagglomerating varieties in these groups of the bituminous class, and that there are notable exceptions in the high volatile C bituminous group.
^FCoals having 69 % or more fixed carbon on the dry, mineral-matter-free basis shall be classified according to fixed carbon, regardless of gross calorific value.
^GEditorially corrected.

Berdasarkan hasil perhitungan rata-rata calorivic value (CV) didapatkan hasil kelas/jenis batubara pada seam 6 masuk ke dalam kualitas High volatile C bituminous coal (Tabel 2) (ASTM, 1981).

Analisis Proksimat Batubara Seam 7

Analisa proksimat ini digunakan untuk mengetahui nilai kualitas dari batubara yang memiliki parameter seperti: fixed carbon (FC), volatile matter (VM), Calorivic value (CV), total moisture (TM), total sulfur (TS), ash content (Ash), (ASTM, 1981). Berikut ini merupakan hasil dari analisa proksimat pada seam 7.

Tabel. 3 Hasil analisa proksimat pada seam 7.

nama bor	seam	analisa proksimat						
		TM (%)	IM (%)	VM (%)	FC (%)	Ash (%)	TS (%)	CV (adb) (Kcal/kg)
XXX 19 05	Seam 7	40.92	19.63	41.77	29.84	8.79	1.18	4865
XXX 20 04	Seam 7	40.04	19.42	41.95	29.68	8.95	1.59	4917
XXX 21 06	Seam 7	37.64	16.25	44.79	29.35	9.61	1.42	5286
Rata-rata		39.5333	18.4333	42.84	29.62	9.12	1.40	5023

Berdasarkan hasil dari analisa yang telah di lakukan pada batubara seam 7 didapatkan nilai rata-rata Calorivic value (adb) sebesar 5023 kcal/kg (Tabel 3).

Klasifikasi batubara menurut ASTM D-388 berfungsi untuk mengetahui kelas dan jenis batubara. Metode klasifikasi ASTM D-388 terdiri dari mencari fixed carbon pada saat batubara kering tanpa mineral pengotor (dmmf). Setelah itu mencari Volatile matter dengan keadaan batubara tanpa mineral pengotor (dmmf). Terakhir menentukan nilai kalori dengan keadaan batubara tanpa mineral pengotor (dmmf) setelah itu angka dimasukan kedalam tabel klasifikasi dan diketahui kelas dan jenis batubaranya.

Perhitungan ASTM D-388 pada batubara seam 7:

$$\begin{aligned}
 CV (dmmf) &= \frac{(1.8185 \times 5023 - (50 \times 1.40)) \times 100}{100 - ((1.08 \times 9.12) + (0.55 \times 1.40))} \\
 &= (9.134 - 70) \times 100 = 906.400 \\
 &= 100 - (9.8 + 0.77) = 89.43 \\
 906.400 \div 89.43 &= \mathbf{10.135 \text{ Btu/lb}}
 \end{aligned}$$

Tabel. 4 Klasifikasi kelas batubara Seam 7 berdasarkan Calorivic value (ASTM, 1981).

TABLE 1 Classification of Coals by Rank^A

Class/Group	Fixed Carbon Limits (Dry, Mineral-Matter-Free Basis), %		Volatile Matter Limits (Dry, Mineral-Matter-Free Basis), %		Gross Calorific Value Limits (Moist, ^B Mineral-Matter-Free Basis)				Agglomerating Character
	Equal or Greater Than	Less Than	Greater Than	Equal or Less Than	Btu/lb		M/kg ^C		
					Equal or Greater Than	Less Than	Equal or Greater Than	Less Than	
Anthracitic:									
Meta-anthracite	98	2	} nonagglomerating
Anthracite	92	98	2	8	...	...	...	...
Semianthracite ^D	86	92	8	14	...	...	...	...
Bituminous:									
Low volatile bituminous coal	78	86	14	22	} commonly agglomerating ^E
Medium volatile bituminous coal	69	78	22	31	...	...	...	...
High volatile A bituminous coal	...	69	31	...	14 000 ^F	...	32.6	...	
High volatile B bituminous coal	...	...	...	...	13 000 ^F	14 000	30.2	32.6
High volatile C bituminous coal	11 500	13 000	26.7	30.2	} agglomerating
					10 500	11 500	24.4	26.7	
Subbituminous:									
Subbituminous A coal	10 500	11 500	24.4	26.7	} nonagglomerating
Subbituminous B coal	...	...	...	...	9 500	10 500	22.1	24.4
Subbituminous C coal	...	...	...	...	8 300	9 500	19.3	22.1
Lignitic:									
Lignite A	6 300 ^G	8 300	14.7	19.3	} nonagglomerating
Lignite B	...	...	...	...	...	6 300	...	14.7

^AThis classification does not apply to certain coals, as discussed in Section 1.
^BMoist refers to coal containing its natural inherent moisture but not including visible water on the surface of the coal.
^CMegajoules per kilogram. To convert British thermal units per pound to megajoules per kilogram, multiply by 0.002 326.
^DIf agglomerating, classify in low volatile group of the bituminous class.
^EIt is recognized that there may be nonagglomerating varieties in these groups of the bituminous class, and that there are notable exceptions in the high volatile C bituminous group.
^FCoals having 69 % or more fixed carbon on the dry, mineral-matter-free basis shall be classified according to fixed carbon, regardless of gross calorific value.
^GEditorially corrected.

Berdasarkan hasil perhitungan rata-rata calorivic value (CV) didapatkan hasil kelas/jenis batubara pada seam 7 masuk ke dalam kualitas Subbituminous B coal (Tabel 4) (ASTM, 1981).

Analisis Proksimat Batubara Seam 8

Analisa proksimat ini digunakan untuk mengetahui nilai kualitas dari batubara yang memiliki parameter seperti: fixed carbon (FC), volatile matter (VM), Calorivic value (CV), total moisture (TM), total sulfur (TS), ash content (Ash), (ASTM, 1981). Berikut ini merupakan hasil dari analisa proksimat pada seam 8.

Tabel. 5 Hasil analisa proksimat pada seam 8.

nama bor	seam	analisa proksimat						
		TM (%)	IM (%)	VM (%)	FC (%)	Ash (%)	TS (%)	CV (adb) (Kcal/kg)
XXX 19 09	Seam 8	40.61	19.56	42.07	27.55	10.82	1.84	4743
XXX 20 09	Seam 8	39.98	17.45	43.43	33.52	5.60	0.85	5205
XXX 21 11	Seam 8	39.77	18.59	43.47	32.09	5.85	1.13	5214
Rata-rata		40.12	18.5333	42.99	31.05	7.42	1.27	5054

Berdasarkan hasil dari analisa yang telah di lakukan pada batubara seam 8 didapatkan nilai rata-rata Calorivic value (adb) sebesar 5054 kcal/kg (Tabel 5).

Klasifikasi batubara menurut ASTM D-388 berfungsi untuk mengetahui kelas dan jenis batubara. Metode klasifikasi ASTM D-388 terdiri dari mencari fixed carbon pada saat batubara kering tanpa mineral pengotor (dmmf). Setelah itu mencari Volatile matter dengan keadaan batubara tanpa mineral pengotor (dmmf). Terakhir menentukan nilai kalori dengan keadaan batubara tanpa mineral pengotor (dmmf) setelah itu angka dimasukan kedalam tabel klasifikasi dan diketahui kelas dan jenis batubaranya.

Perhitungan ASTM D-388 pada batubara seam 8:

$$CV (dmmf) = \frac{(1.8185 \times 5054 - (50 \times 1.27)) \times 100}{100 - ((1.08 \times 7.42) + (0.55 \times 1.27))}$$

$$= (9.190 - 63.5) \times 100 = 912.650$$

$$= 100 - (8 + 0.7) = 91.3$$

$$912.650 \div 91.3 = 9.996 \text{ Btu/lb}$$

Tabel. 6 Klasifikasi kelas batubara Seam 8 berdasarkan Calorivic value (ASTM, 1981)

Class/Group	Fixed Carbon Limits (Dry Mineral-Matter Free Basis, %)		Volatile Matter Limits (Dry, Mineral-Matter Free Basis, %)		Gross Calorific Value Limits (Moist, ^b Mineral-Matter Free Basis)				Agglomerating Character
	Equal or Greater Than	Less Than	Greater Than	Equal or Less Than	Btu/lb		kJ/kg		
Anthracite	86	2	nonagglomerating
Micro-anthracite	82	...	...	4	...	...	...	...
Semianthracite ^c	86	82	8	14	...	...	...	...
Bituminous	78	86	14	22	commonly agglomerating ^d
Low volatile bituminous coal	69	75	22	31	...	...	...	...
Medium volatile A bituminous coal	...	69	31	...	14,000 ^e	...	32.6	...	
High volatile A bituminous coal	...	...	...	...	13,000 ^e	14,000	30.2	32.6
High volatile B bituminous coal	11,500	13,000	26.7	30.2	agglomerating
High volatile C bituminous coal	...	...	...	...	10,500	11,500	24.4	26.7
Subbituminous	nonagglomerating
Subbituminous B coal	...	...	...	...	9,500	10,500	22.1	24.4
Subbituminous C coal	...	...	...	...	8,500	9,500	19.3	22.1
Lignite	nonagglomerating
Lignite A	...	...	...	...	6,300 ^f	8,300	14.7	19.3
Lignite B	...	...	...	...	...	6,300	...	14.7

Berdasarkan hasil perhitungan rata-rata calorivic value (CV) didapatkan hasil kelas/jenis batubara pada seam 8 masuk ke dalam kualitas Subbituminous B coal (Tabel 6) (ASTM, 1981).

Analisis Proksimat Batubara Seam 9

Analisa proksimat ini digunakan untuk mengetahui nilai kualitas dari batubara yang memiliki parameter seperti: fixed carbon (FC), volatile matter (VM), Calorivic value (CV), total moisture (TM), total sulfur (TS), ash content (Ash), (ASTM, 1981). Berikut ini merupakan hasil dari analisa proksimat pada seam 9.

Tabel. 7 Hasil analisa proksimat pada seam 9.

nama bor	seam	analisa proksimat						
		TM (%)	IM (%)	VM (%)	FC (%)	Ash (%)	TS (%)	CV (adb) (Kcal/kg)
XXX 19 17	Seam 9	38.69	19.91	42.27	31.91	5.91	0.77	5074
XXX 20 16	Seam 9	42.81	19.91	42.33	28.29	9.47	1.38	4795
XXX 21 19	Seam 9	39.06	18.85	43.37	31.26	6.52	1.27	5034
Rata-rata		40.1867	19.5567	42.66	30.49	7.30	1.14	4968

Berdasarkan hasil dari analisa yang telah di lakukan pada batubara seam 9 didapatkan nilai rata-rata Calorivic value (adb) sebesar 4968 kcal/kg (Tabel 7).

Klasifikasi batubara menurut ASTM D-388 berfungsi untuk mengetahui kelas dan jenis batubara. Metode klasifikasi ASTM D-388 terdiri dari mencari fixed carbon pada saat batubara kering tanpa mineral pengotor (dmmf). Setelah itu mencari Volatile matter dengan keadaan batubara tanpa mineral pengotor (dmmf). Terakhir menentukan nilai kalori dengan keadaan batubara tanpa mineral pengotor (dmmf) setelah itu angka dimasukan kedalam tabel klasifikasi dan diketahui kelas dan jenis batubaranya.

Perhitungan ASTM D-388 pada batubara seam 9:

$$CV (dmmf) = \frac{(1.8185 \times 4968 - (50 \times 1.14)) \times 100}{100 - ((1.08 \times 7.30) + (0.55 \times 1.14))}$$

$$= (9.034 - 57) \times 100 = 903.400$$

$$= 100 - (7.8 + 0.627) = 92.8$$

$$903.400 \div 92.8 = 9.734 \text{ Btu/lb}$$

Tabel. 8 Klasifikasi kelas batubara Seam 9 berdasarkan Calorivic value (ASTM, 1981)

TABLE 1 Classification of Coals by Rank^a

Class/Group	Fixed Carbon Limits (Dry, Mineral-Matter-Free Basis), %		Volatile Matter Limits (Dry, Mineral-Matter-Free Basis), %		Gross Calorific Value Limits (Moist ^b , Mineral-Matter-Free Basis)				Agglomerating Character
	Equal or Greater Than	Less Than	Greater Than	Equal or Less Than	Btu/lb		Mj/kg ^c		
					Equal or Greater Than	Less Than	Equal or Greater Than	Less Than	
Anthracite	84	2	nonagglomerating
Subbituminous A	82	86	2	8	...	...	...	...
Semibituminous A	86	92	8	14	...	...	...	...
Bituminous	78	86	14	22	commonly agglomerating ^d
Low volatile bituminous coal	69	78	22	31	...	...	...	...
Medium volatile bituminous coal	...	69	31	...	14 000 ^e	...	32.6	...	
High volatile B bituminous coal	...	...	...	...	13 000 ^e	14 000	30.2	32.6
High volatile C bituminous coal	11 500	12 000	26.7	30.2	agglomerating
Subbituminous B coal	...	...	...	...	10 500	11 500	24.4	26.7
Subbituminous C coal	9 500	10 500	22.1	24.4	nonagglomerating
Lignite	...	...	...	...	8 500	9 500	19.3	22.1
Lignite A	...	...	...	...	6 300 ^f	8 300	14.7	19.3
Lignite B	6 300	...	14.7	...

^aThis classification does not apply to certain coals, as discussed in Section 1.
^bMoist refers to coal containing its natural inherent moisture but not including visible water on the surface of the coal.
^cMegajoules per kilogram. To convert British thermal units per pound to megajoules per kilogram, multiply by 0.002 326.
^dAgglomerating, classify in low volatile group of the bituminous class.
^eIt is recognized that there may be nonagglomerating varieties in these groups of the bituminous class, and that there are notable exceptions in the high volatile C bituminous group.
^fCoals having 49 % or more fixed carbon on the dry, mineral-matter-free basis shall be classified according to fixed carbon, regardless of gross calorific value.
^gProbably corrected.

Berdasarkan hasil perhitungan rata-rata calorific value (CV) didapatkan hasil kelas/jenis batubara pada seam 9 masuk ke dalam kualitas Subbituminous B coal (Tabel 8) (ASTM, 1981).

Pengaruh Lingkungan Pengendapan Terhadap Kualitas Batubara

Analisa dilakukan terhadap sampel singkapan batubara seam 6 dengan kode sampel XXX_19_01, XXX_20_01 dan XXX_21_01 dengan mengambil nilai rata-rata setiap data yang berasal dari daerah penelitian di formasi Warukin. Analisa dilakukan untuk mengetahui pengaruh lingkungan pengendapan terhadap kualitas batubara. Untuk analisa sendiri meliputi analisa proksimat, total sulfur, dan nilai kalori. Analisa yang dilakukan menggunakan basis (Air Dried Basis). Adapun hasil dari analisa tersebut diantaranya yaitu nilai kadar air (moisture) rata-ratanya sebesar 17,05%, kadar abu (ash) rata-rata sebesar 18.38%, kadar zat terbang (volatile matter) rata-ratanya sebesar 43,48%, nilai kalori rata-rata sebesar 5206 kkal/kg adb, dan total sulfur sebesar 0,48%.

Hasil analisa menunjukkan persentase rata-rata kadar air sebesar 17,05% adb. Menurut [8], kadar air yang rendah berpengaruh pada nilai kalori batubara, semakin rendah kadar air maka kalori pada semakin tinggi begitu juga sebaliknya.

Kadar zat terbang pada hasil analisa menunjukkan nilai yang tinggi 43,48% adb. Menurut [8], nilai zat terbang sangat erat kaitannya dengan kualitas batubara, semakin tinggi kandungan zat terbang maka semakin rendah kelas batubaranya.

Nilai kadar abu pada batubara dapat menunjukkan kondisi lingkungan pengendapan batubara. Berdasarkan hasil rata-rata kadar abu pada seam 6 yaitu 18.38%, menunjukkan bahwa batubara memiliki kandungan abu yang rendah (<20%) [8]. Hal ini menentukan tipe rawa dalam pembentukan batubara yaitu bertipe Swamp. Tipe rawa seperti ini secara topografi berada di dasar (dibandingkan topografi di sekitarnya) sehingga memudahkan masuknya material yang berasal dari luar cekungan. Menurut [9], pada lingkungan yang lebih ke arah transisi (Transitional lower delta plain) cenderung lebih sedikit terdapat kandungan abu jika dibandingkan dengan daerah yang lebih dekat ke laut (Lower delta plain). Pada lingkungan pengendapan Transitional lowerdelta plain pada umumnya material yang terendapkan berukuran halus dan bersifat anorganik yang kemudian akan ikut terendapkan.

Sementara itu menurut [10], batubara juga dipengaruhi oleh kandungan sulfur, dimana hal ini berkaitan dengan lingkungan pengendapan. Jika batubara terendapkan di lingkungan laut maka kandungan sulfur akan tinggi, begitu sebaliknya jika batubara terendapkan di lingkungan transisi maupun darat maka kandungan sulfur akan cenderung lebih rendah. Dapat dikatakan rendah apabila kandungan sulfur <0,6%, dapat dikatakan sedang jika kandungan sulfur 0,6% – 0,8% dan dikatakan tinggi jika kandungan sulfur >0,8% [10].

Hasil analisa menunjukkan bahwa kandungan sulfur masuk ke kriteria rendah, yaitu rata-rata sebesar 0,48% adb. Maka dapat disimpulkan bahwa batubara di daerah penelitian terendapkan di lingkungan yang lebih mengarah ke transisi atau darat.

Berdasarkan analisis makrokopis dengan lihat asosiasi fasies dari profil yang didapatkan di lapangan, kemudian menginterpretasikan lingkungan pengendapannya didapatkan bahwa lingkungan pengendapan masuk ke daerah Transitional lower delta plain dengan sub lingkungan pengendapan yaitu Crevasse splay, Interdistributary Bay dan Swamp. Sedangkan berdasarkan analisis kualitas batubara didapatkan hasil nilai sulfur yang rendah. Nilai sulfur yang rendah menandakan lingkungan pengendapan berupa transisi atau mendekati darat.

Pengaruh dari lingkungan pengendapan Transitional lower delta plain terhadap kualitas batubara di daerah penelitian mengakibatkan kualitas batubara rendah karena pengaruh dari pasang surut air laut yang menerobos dan menggenangi permukaan rawa dan mengendapkan sedimen klastik halus menjadi pengotor dalam batubara.

KESIMPULAN

Setelah melalui serangkaian analisis data dan interpretasi terhadap hasil penelitian, diperoleh beberapa kesimpulan yang menggambarkan karakteristik serta temuan utama dari studi ini, yaitu sebagai berikut:

1. Terdapat 3 fasies penyusun daerah penelitian yaitu:
 - a. Fasies A (didominasi oleh batupasir lempungan endapan transisi Crevasse splay ke Interdistributary Bay).
 - b. Fasies B (didominasi oleh batulempung karbonan mencirikan endapan Interdistributary Bay).
 - c. Fasies C (didominasi oleh batubara yang mencirikan endapan Swamp).
2. Berdasarkan hasil analisis litofasies dari setiap lubang bor, maka didapatkan bahwa batubara pada daerah penelitian terendapkan pada lingkungan Transitional Lower Delta Plain [6].
3. Berdasarkan hasil analisis kualitas batubara, dapat disimpulkan bahwa batubara di daerah penelitian terendapkan di lingkungan yang lebih mengarah ke transisi.
4. Jenis batubara pada tiap seam batubara pada lokasi penelitian:
 - Seam 6: High volatile C bituminous coal
 - Seam 7: Subbituminous B coal.
 - Seam 8: Subbituminous B coal.
 - Seam 9: Subbituminous B coal.
5. Pengaruh dari lingkungan pengendapan Transitional lower delta plain terhadap kualitas batubara di daerah penelitian mengakibatkan kualitas batubara rendah, karena pengaruh dari pasang surut air laut yang menerobos dan mengendapkan material sedimen klastik halus menjadi pengotor dalam batubara

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Institut Teknologi Nasional Yogyakarta, Indonesia serta seluruh rekan yang telah berpartisipasi dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] I. I. Arif, *Batubara Indonesia*, Gramedia Pustaka Utama, 2014.
- [2] R. Pahlevi, S. Thamrin, I. Ahmad, & F. B. Nugroho, "Masa Depan Pemanfaatan Batubara sebagai Sumber Energi di Indonesia," *Jurnal Energi Baru Dan Terbarukan*, vol. 5, no. 2, pp. 50-60. 2024.
- [3] ESDM, *Outlook Energi Indonesia 2023*, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia, 2023.
- [4] Sukandarrumidi, *Batubara dan Gambut*, Yogyakarta: Gajah Mada University Press, 2008.
- [5] Y. Darlan, R. Zuraida, C. Purwanto, R. Sulistyanti, A. Setyabudhi, & A. Masduki, *Studi Regional Cekungan Batubara Wilayah Pesisir Tanah Laut-Kotabaru Kalimantan Selatan*. Direktorat Sumberdaya Mineral, Badan Geologi, Kementerian ESDM, 1999.
- [6] J. C. Horne, *Depositional Models in Coal Exploration and Mine Planning in Appalachian Region, Texas*: AAPG Convention SEPM, Houston, 1978.
- [7] ASTM. *Annual Book of ASTM Standards: Part 26, Gaseous Fuels; Coal and Coke; Atmospheric Analysis*, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, 1981.
- [8] A.C. Cook, *The Origin and Petrology of Organic Matter in Coals. Oil Shales and Petroleum Source – Rocks*, The University of Wollongong, 1999.
- [9] C. F. K. Diessel, *Coal-Bearing Depositional Systems*, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 1992.
- [10] Kuncoro, B. Prasongko, "Model Pengendapan Batubara untuk Menunjang Eksplorasi dan Perencanaan Penambangan," Program Pascasarjana, ITB: Bandung, 1996.