

Studi Review: Evaluasi Batubara Formasi Sawahlunto sebagai Batuan Induk Hidrokarbon

¹Arif Algifari, ²Syari Rahma Yanti, ³Fitri Nauli

^{1,2,3}Departemen Teknik Pertambangan, Universitas Negeri Padang, Indonesia
a.algifari@ft.unp.ac.id, syarahma@ft.unp.ac.id, fitrinauli@ft.unp.ac.id

ARTICLE INFO

Article History:

Diterima : 24-07-2023

Disetujui : 05-09-2023

Keywords:

Hydrocarbon; Coal

Source Rock;

Sawahlunto Formation;

Ombilin Basin



ABSTRACT

Abstract: Hydrocarbons are still source of energies that people are interested in. This energy source does not only come from source rock of formations and reservoirs of oil and natural gas, hydrocarbon sources can also be found in the organic depositional environment of coal formations. The Ombilin Basin in West Sumatra stores coal deposits that were formed during the Tertiary period in a non-marine environment, precisely in the Sawahlunto formation. This study aims to identify the potential of light hydrocarbons from coal as a source rock. The identification method was carried out by studying the geochemical and petrological characteristics of coal based on the literature study approach and geological survey of the basin to obtain information that the organic component of the coal of the Sawahlunto formation is dominated by vitrinite maceral. The relationship between maceral and the hydrogen/carbon ratio is plotted on a Van Krevelen diagram to determine the hydrocarbon recovery. The genesis of this coal deposit comes from plants that have the potential to produce methane coal gas or coal bed methane because it has the characteristics of bituminous class coal with high volatile content with an empirical hydrogen/carbon ratio kerogen III type of 0.65-0.7, tends to occur condensation of hydrocarbons releasing aliphatic bonds while aromatization continues increase.

Abstrak: Hidrokarbon masih menjadi sumber energi yang diminati masyarakat. Sumber energi ini tidak hanya berasal dari formasi batuan induk dan reservoir minyak bumi serta gas alam, sumber hidrokarbon juga dapat ditemukan pada lingkungan pengendapan organik formasi batubara. Cekungan Ombilin di Sumatera Barat menyimpan endapan batubara yang terbentuk selama periode Tersier pada lingkungan non laut tepatnya pada formasi Sawahlunto. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi potensi hidrokarbon ringan dari batubara sebagai batuan induk. Metode indentifikasi dilakukan dengan mempelajari karakteristik geokimia dan petrologi batubara berdasarkan metode pendekatan studi literatur dan survey geologi cekungan hingga diperoleh informasi bahwa komponen organik batubara formasi Sawahlunto didominasi oleh maseral vitrinit. Hubungan antara maseral terhadap rasio hidrogen/karbon diplot pada diagram Van Krevelen untuk menentukan perolehan hidrokarbon. Genesis endapan batubara ini berasal dari tumbuh-tumbuhan yang berpotensi menghasilkan gas metana batubara atau coal bed methane karena memiliki karakteristik batubara kelas bituminus volatil tinggi tipe kerogen III dengan rasio hidrogen/karbon empiris 0,65-0,7 cenderung terjadi kondensasi hidrokarbon melepaskan ikatan alifatik sedangkan aromatisasi terus meningkat.



<https://doi.org/10.31764/justek.vXiY.ZZZ>



This is an open access article under the **CC-BY-SA** license

A. LATAR BELAKANG

Sedimentasi dalam fenomena geologi suatu cekungan endapan hidrokarbon merupakan gambaran alam nyata bagaikan sebuah karya seni alamiah yang implikasinya dapat ditelusuri bahkan direkayasa dalam hal proses pembentukan suatu endapan hidrokarbon. Endapan organik dapat mengandung unsur karbon dan hidrogen bersifat mampu bakar merupakan sumber dapat dimanfaatkan untuk kebutuhan energi. Bentuk dari sumber hidrokrabon yang dibutuhkan masyarakat dalam pemenuhan energi sehari-hari yang didominasi oleh minyak dan gas alam. Sebetulnya ada beberapa endapan yang mengandung hidrokarbon berupa minyak bumi, gas alam, batubara, dan shale oil namun tetap saja minyak dan gas alam masih populer (Setyono & Kiono, 2021) karena masyarakat telah dibiasakan menggunakan sumber energi tersebut. Semakin lama muncul kekhawatiran tentang cadangan minyak habis pada masa yang akan datang, hingga muncul usaha mengeksplorasi sumber hidrokarbon (Sahido, 2021) di cekungan baru. Beberapa di antara endapan hidrokarbon potensial terdapat di cekungan Ombilin, sebuah cekungan di Sumatera Barat yang terbentuk dari aktifitas tektonik hingga membuat sesar geser oroklin paparan sunda selama umur paleogen sebagai akibat dari pergeseran paparan sunda serah jarum jam karena desakan lempeng Mediterania (Patria, Aulia Agus, Anggara, 2019).

Cekungan Ombilin di Sumatera Barat identik dengan endapan batubara terbentuk pada periode tersier berukuran miosen-eosen (Murray et al., 2015). Salah satu formasi penyusun cekungan tersebut adalah formasi Sawahlunto yang menyimpan deposit batubara. Di samping dapat dieksploitasi secara langsung sebagai sumber energi, batubara menyimpan kandungan hidrokarbon. Oleh karena itu batubara sering disebut dengan batuan induk dan reservoir minyak dan gas alam (Jamaluddin & Johannes Gedo Sea, 2018). Batuan induk hidrokarbon berarti suatu endapan batuan endapan dalam kedudukannya di alam telah atau sedang serta akan menghasilkan dan juga melepaskan komponen hidrokarbon sehingga terakumulasi dalam reservoir berbentuk gas atau minyak bumi (Praptisih et al., 2011). Potensi ini yang hendaknya dimanfaatkan secara optimal. Artinya ada dua kemungkinan yang dapat dilakukan dalam kegiatan penambangan batubara, pertama mengeksplorasi hidrokarbon dari batubara, kedua mengeksplorasi batubara setelah tahapan pertama. Potensi hidrokarbon yang dimaksud adalah kemungkinan keterdapatan minyak dan gas. Gas metana merupakan kandungan yang umum ditemui dalam lapisan batubara lebih sering disebut dengan gas metana batubara atau coal bed methane (Laksmi Sari et al., 2022).

Keterdapatan endapan batubara sering dikaitkan dengan kedekatan endapan minyak bumi dan gas alam (Jamaluddin & Johannes Gedo Sea, 2018) seperti halnya endapan organik pada cekungan Sumatera Selatan dan cekungan Kalimantan Timur. Walaupun pada hakikatnya, batubara, minyak bumi, dan gas alam adalah sesama endapan organik yang dapat terbentuk bersamaan pada waktu dan tempat yang sama ataupun sebaliknya. Pengujian keterdapatan endapan hidrokarbon melalui identifikasi kerogen, sebuah substansi organik padat pada deposit sedimen yang tidak mudah terlarutkan oleh pelarut (Hutton & Rob, 2018) namun ada kala terdekomposisi akibat perlakuan termal. Keterdapatan endapan hidrokarbon tersebut pada sebuah cekungan sedimen dapat memberikan luaran beberapa identifikasi rasio hidrogen/karbon, oksigen/karbon, dan komposisi maseral dari komponen organik tersebut yang dibandingkan secara empiris pada diagram Van Krevelen untuk menentukan generasi hidrokarbon apa yang berpotensi pada formasi tersebut.

B. METODE PENELITIAN

Artikel ini merupakan luaran dari bentuk penelitian yang dilakukan secara eksplorasi literatur yang merujuk kepada metodologi dan tujuan penelitian review (Crisnaldy, 2021) digunakan sebagai penelitian dalam rangka melakukan evaluasi terhadap penelitian-penelitian yang relevan dengan evaluasi batubara pada formasi Sawahlunto di cekungan Ombilin sebagai batuan induk hidrokarbon. Objek penelitian adalah cekungan Ombilin yang berlokasi di Sawahlunto, Sumatera Barat dengan koordinat astronomis 100o 41" - 100o 49" Bujur Timur dan 0o 30" - 0o 36" Lintang Selatan. Akses menuju Sawahlunto sekitar 96 km lewat jalur darat dari kota Padang, Sumatera Barat. Pengumpulan data penelitian dilakukan sebagai representasi dari sekumpulan rujukan data-data penelitian terdahulu dan survey geologi cekungan pada objek teridentifikasi endapan organik yaitu pada formasi Sawahlunto yang dilakukan di daerah Kandi.

Evaluasi batubara sebagai batuan induk hidrokarbon menggunakan beberapa parameter, proksimat & ultimat, petrografi dan parameter geokimia yang sebagian diplot pada diagram Van Krevelen untuk menganalisis tipe perolehan hidrokarbon. Parameter proksimat digunakan untuk penentuan kelas batubara dan kebutuhan penentuan rasio hidrogen/karbon dan oksigen/karbon. Parameter petrografi yang digunakan berupa karakteristik maseral. Parameter geokimia yang dibutuhkan adalah total organic carbon (TOC), indeks hidrogen (HI), indeks oksigen (OI), fraksi gas, dan lainnya. Kuantitas TOC sebagai penentu kualitas batuan induk sesuai dengan Tabel 1 menyajikan semakin tinggi kandungan karbon total maka suatu batuan cenderung disebut sebagai batuan induk yang baik. Indeks hidrogen sebagai penentu banyaknya hidrokarbon yang terkandung per massa karbon organik sesuai pada Tabel 2. Jadi komponen karbon yang banyak pada batuan belum tentu sebanding dengan komponen hidrogen.

Tabel 1. Parameter potensial batuan induk berdasarkan TOC (Peters, 1986)

Kualitas	TOC (%wt)
Buruk	0-5
Cukup baik	0,5-1
Baik	1-2
Sangat baik	>2

Tabel 2. Tipe perolehan hidrokarbon berdasarkan indeks hydrogen (Peters, 1986)

Tipe hidrokarbon	HI (mg HC/g C _{org})
Gas	0-150
Gas dan minyak	150-300
Minyak	300+

Indeks hidrogen mempengaruhi perolehan tipe hidrokarbon yang didasari atas pengelompokan kerogen pada diagram Van krevelen. Kerogen tipe I memiliki hidrogen indeks tinggi dan nilai oksigen indeks rendah cenderung menghasilkan hidrokarbon minyak terbentuk dari bahan organik alga dan umumnya terbentuk pada lingkungan laut tetapi tidak tertutup kemungkinan berhubungan erat dengan lacustrine atau endapan sedimen danau (Hart & Steen, 2015). Kerogen tipe II dicirikan dengan indeks hidrogen lebih rendah dan nilai indeks oksigen lebih tinggi daripada tipe kerogen I. Jenis bahan organik ini biasanya dikaitkan dengan mikroorganisme laut seperti planktonik, kerogen ini memperoleh minyak (Hart & Steen, 2015). Kerogen tipe III dicirikan dengan indeks hidrogen relatif rendah dan nilai indeks oksigen yang lebih tinggi, sebagai tanda material asal adalah bahan tumbuhan, kerogen tipe III cenderung menghasilkan gas. Kerogen tipe IV dicirikan dengan indeks hidrogen yang sangat rendah dan indeks

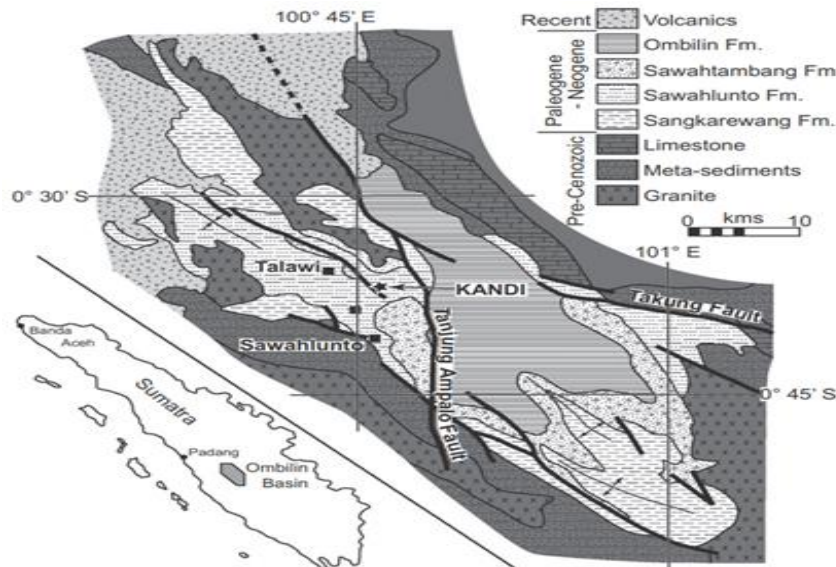
oksigen sangat tinggi, material berasal dari tumbuhan kaya akan karbon dan cenderung tidak menghasilkan hidrokarbon (Hart & Steen, 2015).

C. HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Keadaan Geologi

Pulau Sumatera merupakan produk dinamika struktur sebagai hasil dari subduksi lempeng dari barat. Dampak yang terjadi salah satunya adalah pembentukan dasar cekungan tersubsidensi, perlahan terisi dengan komponen sedimen secara natural (Zonneveld et al., 2012). Formasi dasar terbentuk pada awal paleogen, kemudian berlanjut pada formasi yang berumur oligosen dan eosen (Zonneveld et al., 2012). Peta geologi cekungan Ombilin dapat dilihat pada Gambar 1. Cekungan Ombilin terletak di Sumatera Barat, tersusun oleh formasi-formasi yang terbentuk pada zaman tersier eosen akhir dan oligosen awal (Fatimah & Ward, 2009). Endapan sedimenter terbentuk pada lingkungan pengendapan non-laut yang teridentifikasi padanya fosil organisme air tawar pada formasi Sangkarewang (Murray et al., 2015) pada formasi yang lebih tua dari formasi Ombilin, kondisi laut tidak terlibat dalam lingkungan pengendapan sebelum sampai kepada zaman miosen awal, awal miosen sudah ditandai dengan hadirnya formasi berbatu gamping berfosil dan calcareous shale di formasi ombilin (Zonneveld et al., 2012). Proses awal pembentukan cekungan akibat terjadinya sesar geser oroklin (Patria, Aulia Agus, Anggara, 2019) hingga terbentuk lembah sedalam lebih kurang 3 km (Koesoemadinata, 1981). Ukuran cekungan sekitar 20 x 60 km, dasar cekungan berumur paleogen (Belkin et al., 2009). Sesar oroklin merupakan hasil dari subsidensi pada zona transpresional pada bagian tengah Sumatera akibat penujaman lempeng Australia-India di samping pembentukan pegunungan bukit barisan pada bagian barat Sumatera (Packham, 1993).

Batubara yang tertambang berada pada formasi Sawahlunto berumur eosen yang tersusun atas batubara, mudstone abu-abu dan siltstone dengan sedikit batu pasir yang kaya akan kuarsa, terdapat tiga lapisan batubara dengan ketebalan total lebih dari 8 m (Belkin et al., 2009). Batubara di Indonesia yang berumur paleogen cenderung memiliki kelas bituminus (Belkin et al., 2009) sehingga ini menjadi bukti mayoritas batubara Ombilin adalah bituminus. Identifikasi stratigrafi lapangan dilakukan terhadap formasi Sawahlunto juga terdapat claystone berwarna merah kecoklatan. Pada formasi Sangkarewang terdiri dari beberapa lapisan terselang-seling antara batu pasir berwarna keabuan dan serpih dengan formasi Brani. Batu pasir halus, sortasi sedang, butiran membulat, tersusun atas kuarsa dan olivin sekitar 10%. Serpih berbahan dasar lempung hingga lanau, berwarna merah kecoklatan. Cekungan Ombilin disebut dengan sedimen cekungan antar pegunungan dan cekungan berstruktur yang berada di bukit barisan Sumatera Barat (O'shea et al., 2014). Isian cekungan pada zaman cenozoik memiliki ketebalan 4600 m (Husein et al., 2018). Material di zaman cenozoik mengisi cekungan adalah batuan dasar sebelum zaman cenozoik dimana formasi yang tertua adalah Brani berumur paleogen (Koesoemadinata, 1981). Terdapat tujuh deposit sedimen membentuk formasi batuan pada cekungan yang berbentuk pada sub-periode tersier, memiliki tebal formasi yang bervariasi. Detail deskripsi batuan setiap formasi dipaparkan pada halaman selanjutnya.



Gambar 1. Peta geologi cekungan Ombilin (Zonneveld et al., 2012)

AGE	FORMATION		DESCRIPTION	
	Margin	Centre		
QUAT.	RANAU		VOLCANIC TUFTS	
TERTIARY	Unconformity		Unconformity	
	E. MIOC.	OMBILIN FORMATION 1400m		MARINE DEPOSITS GREY CALCAREOUS MARLS AND CLAYS WITH LOCAL BIOCLASTIC LIMESTONE BEDS
		Hiatus		
	EOCENE - OLIGOCENE	SAWAHTAMBANG FORMATION 600m		BRAIDED STREAM DEPOSITS WITH LOCAL MARINE INTERCALATIONS COARSE - FINE GRAINED SANDSTONES, MEGA FORE-SETS, TRUNCATED BEDS, FINING UPWARD SEQUENCES, SOME COARSE FAN MATERIAL AT THE BASIN MARGINS
		SAWAHLUNTO FM. 0-200m		RIVER AND FLOOD PLAIN DEPOSITS MULTICOLORED SILTSTONES AND SHALES WITH COARSE - FINE GRAINED SANDSTONE CHANNEL FILLS, INTERBEDDED COAL
		BRANI		MARGINAL COARSE CONGLOMERATES, BRECCIAS AND SANDSTONES
		Unconformity		Unconformity
SANGKAREWANG FM 0-300m		LAKE DEPOSITS LAMINATED, DARK GREY CLAYS AND SANDSTONES		
BRANI		MARGINAL COARSE CONGLOMERATES, BRECCIAS AND SANDSTONES		
Unconformity		Unconformity		
PRE-TERTIARY BASEMENT			PERMO CARBONIFEROUS AND TRIASSIC SHALES, LIMESTONES, QUARTSITIC SANDSTONES, PHYLLITES, MARBLES MIDDLE CRETACEOUS GRANITE	

Gambar 2. Stratigrafi formasi pada cekungan Ombilin (Moss & Howellsj, 1996)

a. Formasi Silungkang

Formasi Silungkang menjadi dasar cekungan pada periode pre-Tersier atau Permian, sebagai hasil kerak bumi yang terangkat dari aktifitas tektonik lempeng bagian barat pulau Sumatera yang menghasilkan batas cekungan (Linggadipura & Susilo, 2017), tersusun atas terobosan batuan beku dan deposit batu gamping (Husein et al., 2018; Irzon, 2022).

b. Formasi Brani

Formasi Brani berbentuk deposisi sedimen kipas yang mengandung breksi dan

butiran polimiktik hingga konglomerat dalam matrik lumpur dan pasir yang terselang-seling pada formasi Sangakrewang dan Sawahlunto (O'shea et al., 2014). Formasi Brani mengandung banyak batu pasir, batu breksi, hingga batu konglomerat dengan fragmentasi batuan berukuran atas kerikil hingga kerakal, komposisi bervariasi menunjukkan karakter bermatriks berukuran pasir, sortasi buruk, umumnya tidak menunjukkan perlapisan (Mulyana & Gani, 2015).

c. Formasi Sangkarewang

Formasi Sangkarewang tersusun atas serpih berwarna abu-abu ke biru hingga hitam, umumnya berwarna abu-abu kehijauan mengandung mineral feldspar turbidit berbatu pasir, formasi ini terbentuk sebagai cerminan lingkungan air tawar lacustrine, sebuah deposit sedimen yang biasa terendapkan pada dasar danau, bertekstur tumpang tindih dengan sedimen fluvial berumur miosen (O'shea et al., 2014). Tersusun atas perlapisan batu lempung, serpih coklat kehitaman, terselang seling dengan batu pasir. Bukti bahwa pembentukan formasi ini pada lingkungan non-laut adalah ditemukan fosil air tawar (Murray et al., 2015). Sifat batu serpih coklat kehitaman dan daya dukung keterdapatan fosil meyakinkan terdapat endapan organik pada formasi ini.

d. Formasi Sawahlunto

Formasi Sawahlunto terdiri dari batubara, serpih, batu lanau, kaya akan batu pasir (Fatimah & Ward, 2009). Formasi Sawahlunto memiliki ketebalan 100-200 m (Koesoemadinata, 1981) hasil pengendapan tipe fluivial berumur oligosen akhir hingga miosen awal (Murray et al., 2015). Terselip tiga lapisan batubara A, B, dan C dengan split yang ditemukan pada beberapa lokasi. Secara detail pada Gambar 3, formasi Sawahlunto tersusun atas perlapisan batu lempung, batu pasir, serpih, serpih kelanauan, batu lanau berpasir kuarsa terselip lapisan tipis-tipis dari batubara berwarna abu-abu kecoklatan, dominansi shale karbonan, coaly dan shale sebagai underclay menyebabkan batuan overburden dan interburden dominan berwarna keabuan (Mulyana & Gani, 2015). Pola sedimentasi ini menunjukkan tipe fining-upward, struktur sedimen cross-bedded low angle, current ripple laminated, dengan sharp erosional base, asosiasi ini menunjukkan facies point bar (Mulyana & Gani, 2015).

EPOCH	FORMATION	UNIT	LITHOLOGY	DESCRIPTION
EOCENE	SAWAHLUNTO	E4		CLAYSTONE, SILTSTONE AND SANDSTONE
				A1 SEAM WITH SMALL CLAY PARTINGS (1 TO 3.5 METRES)
				CLAYSTONE, SILTSTONE AND SANDSTONE (7 TO 10 MATRES)
				B1 SEAM (1 TO 2 METRES)
				CLAYSTONE, SILTSTONE (2 TO 3 MATRES)
				B2 SEAM (1.5 TO 2 METRES)
				CLAYSTONE, SILTSTONE AND SANDSTONE (15 TO 20 MATRES)
				C COAL, SMALL CLAY PARTINGS (3 TO 5 MATRES)
				CLAYSTONE AND SILTSTONE

Gambar 3. Stratigrafi lapisan formasi sawahlunto (Santoso & Daulay, 2007)

e. Formasi Sawahtambang

Formasi Sawahtambang berada tepat di atas formasi Sawahlunto, sebagai interpretasi dari bekas deposit sungai yang terjalin sedemikian rupa dalam tekstur cross bedded batu pasir berkuarsa, dan konglomerat (Koesoemadinata & Matasak, 1981) juga memiliki tipe endapan fluvial seperti deposit di bawahnya (Murray et al., 2015). Komposisi formasi mengandung mineral kuarsa danfeldsfar, pada beberapa tempat terdapat perselingan tipis-tipis shale, batu lanau, batu pasir berukuran butir halus hingga kasar (Mulyana & Gani, 2015).

f. Formasi Ombilin

Formasi Ombilin mengandng serpih bewarna abu-abu gelap, lensa batu gamping berkoral sedikit sisa-sisa tumbuhan laut. Formasi Ombilin terdiri dari batu lempung karbonan mengandung globigerina heterolitik di lingkungan laguna (Husein et al., 2018) dan batu lempung karbonatan berwarna abu-abu yang pada beberapa tempat berselingan dengan lapisan-lapisan dan tipis dari batu pasir karbonat, mineral authogenik glaukonit, terdapat pecahan fragmen moluska dan sisa-sisa tumbuhan (Mulyana & Gani, 2015).

2. Karakteristik Proksimat dan Ultimat Batubara

Analisis batubara meliputi proksimat dan ultimat merupakan beberapa parameter penentuan kualitas batubara. Kelas batubara teridentifikasi pada bituminous high volatile (Santoso & Daulay, 2007) yang identik dengan kadar karbon, zat terbang, dan nilai kalori yang tinggi. Berikut merupakan salah satu hasil analisis kualitas batubara di formasi Sawahlunto menurut (Belkin et al., 2009). Sumber referensi tambahan menyebutkan kandungan sulfur total sekitar 0,5-0,6% (air dried) (Herudiyanto, 2007).

Tabel 3. Analisis proksimat dan ultimat batubara bituminus formasi Sawahlunto

TM	RM	ADL	Ash	VM	TC	H	N	CV
3,1	1,05	2,07	7,33	42,84	73,16	5,41	1,35	7340

*komposisi dalam satuan %m kecuali CV dalam kkal/kg

** TM: total moisture; RM: residual moisture; ADL: air dry loss;

VM: volatile matter; TC: total carbon; H: hidrogen; N: nitrogen;

CV: calorific value.

***pengujian dalam as-received basis. (Belkin et al., 2009)

3. Petrografi Batubara

Karakter petrografi mengacu kepada hasil pengujian reflektansi dan kandungan maseral, merupakan bagian kecil dari bahan organik pada batuan yang masih dapat dilihat dengan batuan alat optik (Annisa & Putri, 2021). Identifikasi maseral dilakukan terhadap batubara bituminous high volatile dari formasi Sawahlunto sesuai dengan penelitian (Belkin et al., 2009) dapat dilihat pada Tabel 4. Batubara ini didominasi oleh maseral vitrinit sebanyak 80,2%, dan beberapa komponen funginit 10,4% serta sedikit bagi komponen fusinit, semi fusinit, sporinit, resininit, dan suberinit. Petrografi maseral batubara dapat dilihat pada Gambar 4.

Tabel 4. Reflektansi vitrinit batubara bituminus formasi Sawahlunto

Vit	Fus	Sem	Fun	Spo	Cut	Res	Sub	Sul
80,2	2,4	1,6	10,4	0,2	2	0,8	0,4	2

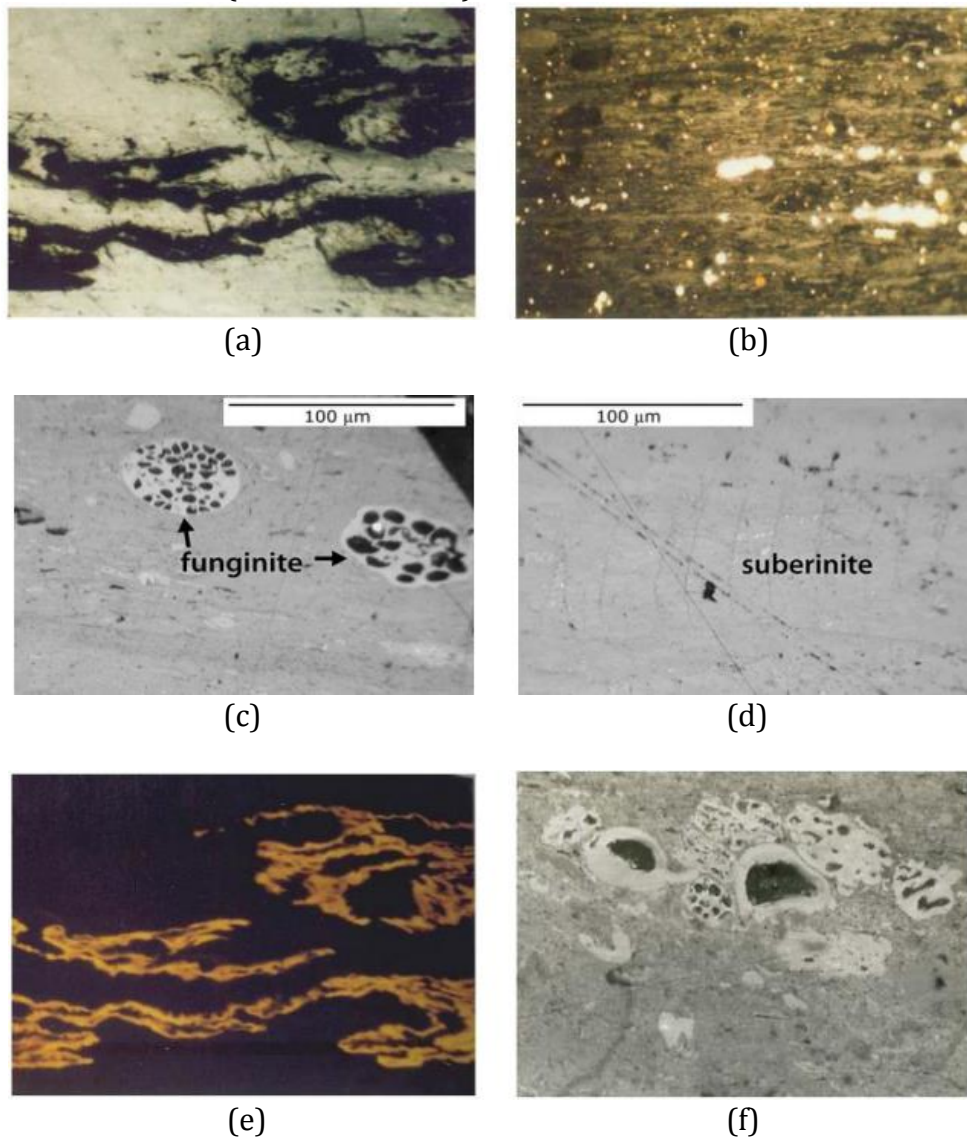
*komposisi dalam satuan %

**Vit: Vitrinit; Fus: Fusinit; Sem: Semifusinit; Fun:

Funginit; Spo: Sporinit; Cut: Cutinit; Res: Resinite; Sub:

Suberinit; Sul: Sulfide. (Belkin et al., 2009)

Maseral merupakan parameter pedoman pemilihan batubara yang akan dimanfaatkan. Maseral terdiri dari beberapa klasifikasi umum berdasarkan jenis material tumbuhan asal, vitrinit berasal dari tumbuhan tingkat tinggi berkayu dan berdaun (Annisa & Putri, 2021; Laksono, 2021), vitrinit merupakan komponen utama batubara yang menyebabkan sifat fisik batubara menjadi keras dan bersifat plastis jika menerima panas. Inertinit bersifat inert, berasal dari jaringan tumbuhan lunak terbentuk dari tumbuhan yang mengalami oksidasi terlebih dahulu (Annisa & Putri, 2021). Eksinit berasal dari spora dan resin bersifat volatil (Laksono, 2021). Liptinit berasal dari bagian kutikula ganggang dan resin spora (Annisa & Putri, 2021). Bagian dari liptinit adalah resin berperan penting dalam pembentukan hidrokarbon alifatik rantai panjang (Chen et al., 2012). Funginit berasal dari jamur berspora dan skerotia tinggi struktur aromatik (Chen et al., 2012).



Gambar 4.

Reflektansi fotomikrograf dari batubara bituminus formasi Sawahlunto: (a) cutinit (hitam) dalam detrovitrinit (abu-abu) (b) detrovitrinit (abu-abu), eksinit (hitam), pirit (putih) (c) funginite (hitam) dalam detrovitrinit (abu-abu) (d) suberinit (hitam) dalam detrovitrinit (abu-abu) (e) kultinit (kuning) dalam vitrinit (hitam) (f) sklerotinit (putih) dalam detrovitrinit (abu-abu) (Belkin et al., 2009; Santoso & Daulay, 2005, 2007)

Curtinit adalah submaseral eksinit berasal dari spora (Laksono, 2021) mempunyai karakter polimerisasi tinggi dan kaya asam lemak hidroksil, secara struktur didominasi alifatik dibandingkan struktur aromatik (Meili et al., 2020). Detrovitrinit merupakan submaseral vitrinit yang kaya akan selulosa (International Committee for Coal and Organic Petrology, 1998). Suberinit cenderung menghasilkan hidrokarbon rantai panjang, berasosiasi dengan liptinit dan vitrinit (Khorasani & Khorasani, 1991). Spekulasi hasil penelitian-penelitian terdahulu muncul seperti kadar liptinit batubara Ombilin 4,2% (Davis et al., 2007) sedangkan menurut (Anggara, 2022) sebesar 24,95%vol mmf. Tabel 5 menyajikan akumulasi kandungan maseral berdasarkan penelitian-penelitian sebelumnya.

Tabel 5. Parameter petrografi maseral batubara formasi Sawahlunto

Maseral	Komposisi	Tipe Kerogen (Laksono, 2021)	Referensi
Vitrinit	61,06 %vol mmf 80,2 % 90%	III	(Anggara, 2022) (Belkin et al., 2009) (Santoso & Daulay, 2005)
Detrovitrinit	0,4%	*	(Davis et al., 2007)
Liptinit	24,95%vol mmf 4,2%	II	(Anggara, 2022) (Davis et al., 2007)
Inertinit	13,75 %vol mmf 2%	IV	(Anggara, 2022) (Santoso & Daulay, 2005)
Funginit	10,4%	*	(Belkin et al., 2009)
Eksinit	6%	II	(Santoso & Daulay, 2005)
Fusinit	2,4%	*	(Belkin et al., 2009)
Cutinit	2% 5%	*	(Belkin et al., 2009) (Santoso & Daulay, 2005)
Semifusinit	1,6%	*	(Belkin et al., 2009)
Resinit	0,8% 1%	II	(Belkin et al., 2009) (Santoso & Daulay, 2005)
Suberinit	0,4% 3%	*	(Belkin et al., 2009) (Santoso & Daulay, 2005)

*Data tidak diketahui

4. Analisis Geokimia Batuan Induk

Analisis geokimia batubara mengacu kepada komposisi kimia yang memungkinkan adanya perolehan hidrokarbon di dalamnya dengan pertimbangan parameter-parameter geokimia hidrokarbon batuan induk sesuai pada Tabel 1 dan Tabel 2. Hubungan maseral juga disertakan pada plot diagram Van Krevelen yang menyajikan rasio H/C dan O/C terhadap kandungan maseral pada batubara. Plot dominasi vitrinit dapat dilihat pada Gambar 5, bahwa rasio H/C batubara berada pada nilai 0,6-0,75 dan rasio O/C berada pada rasio 0,1 (Finkelman, 2003). Parameter maseral ini juga sebagai representasi dari proses pembatubaraan. Schopf pada tahun 1948 dalam artikelnya menyebutkan tentang beberapa variabel pembatubaraan yaitu vitrinitisasi dan fusiniasi sebagai proses aktif dari serangkaian tahapan diagenesis dan metamorfik pada beberapa tingkatan batubara (Morton Schopf, 1948).

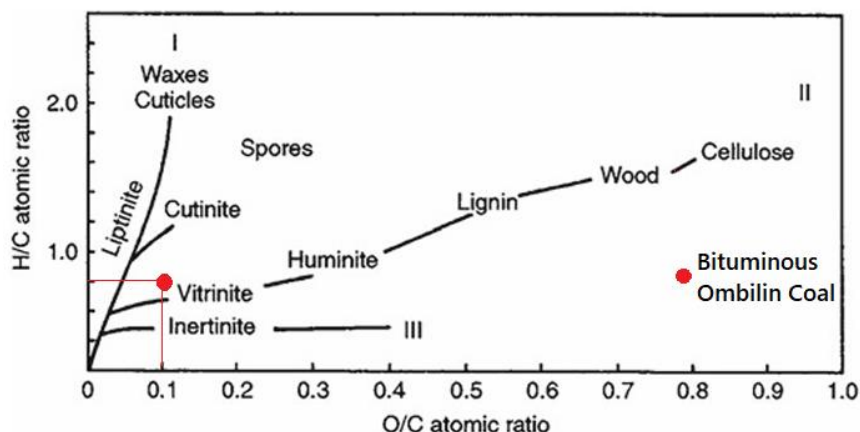
Tabel 6. Tabel parameter geokimia hidrokarbon batuan induk

Parameter	Nilai	Potensial (Laksono, 2021)	Referensi
Total organic carbon (TOC)	64,8 %	Batuan induk yang sempurna, HC >2400 ppm	(Davis et al., 2007)

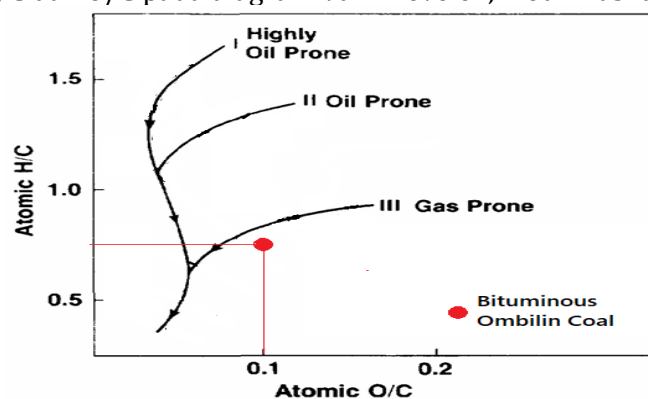
Hydrogen indeks (HI)	318 mg HC/ g C	Tipe kerogen II untuk minyak dan gas	(Davis et al., 2007)
H/C	0,6-0,75	Tipe kerogen II dan III	(Finkelman, 2003)
O/C	0,1	Tipe kerogen II dan III	(Finkelman, 2003)
Fraksi gas	0,55	Hidrokarbon ringan	(Davis et al., 2007)
T_{max}	432°C	Awal kematangan	(Davis et al., 2007)
Derajat kematangan bahan organik (R_m)	0,64%	Awal kematangan	(Davis et al., 2007)

D. TEMUAN ATAU DISKUSI

Plot rasio H/C dan O/C batubara ke dalam diagram Van Krevelen membuktikan dengan nyata bahwa alur genesis pembentukan batubara dalam proses pembatubaraan berasal dari organisme tumbuhan tingkat tinggi (Laksono, 2021) yang berujung kepada dominasi maseral vitrinit. Seperti terlihat pada plot diagram Van Krevelen Gambar 5 atas pertimbangan indeks hidrogen dan kandungan liptinit serta resinat yang cukup, di samping itu vitrinit dan eksinit penyumbang kerogen tipe II (Fan et al., 2020), secara empirisnya batubara formasi Sawahlunto potensial mengandung kerogen tipe II berpotensi menghasilkan hidrokarbon cair ataupun mengandung kerogen tipe III jika mengacu kepada rasio H/C dan O/C yang dominan menghasilkan hidrokarbon ringan atau gas seperti terlihat pada plot diagram Van Krevelen Gambar 6. Namun, simpulan sementara yang ditemukan adalah bahwa batubara lebih cenderung sebagai batuan induk hidrokarbon ringan.

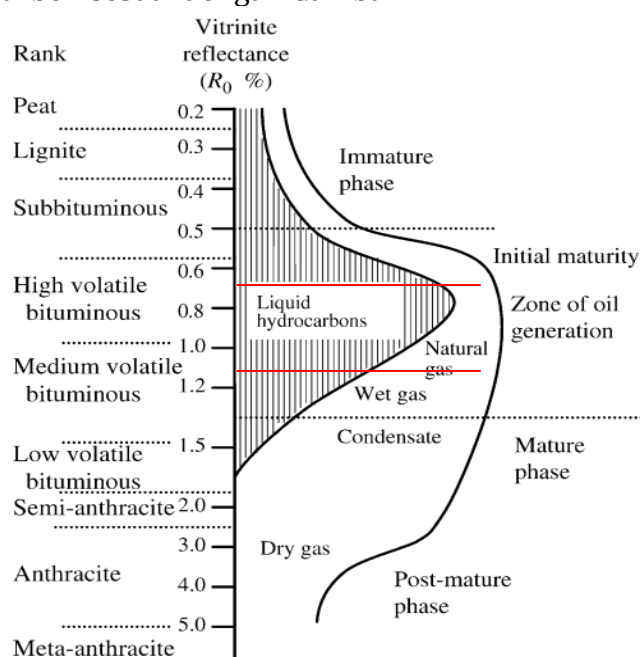


Gambar 5. Rute pematangan zat organik berdasarkan berdasarkan perbedaan rasio H/C dan O/C pada diagram Van Krevelen, modifikasi dari (Voncken, 2020)



Gambar 6. Plot rasio H/C dan O/C batubara formasi Sawahlunto dan potensial hidrokarbon yang diperoleh, modifikasi dari (Hart & Steen, 2015)

Kematangan zat organik batubara selama proses pematubaraan merupakan salah satu parameter sumber hidrokarbon batuan induk. Fase pematangan zat organik sesuai dengan Gambar 5 seiring dengan proses pematubaraan saat batubara mulai mencapai kelas bituminous. Kombinasi antara parameter termodinamika metamorfisme yaitu temperatur dan tekanan serta diagenesis berupa proses mikrobiologi mengubah struktur organik batubara membebaskan hidrokarbon dalam bentuk hidrokarbon berat dan ringan. Batubara Ombilin dengan kelas bituminous high volatile diyakinkan secara empiris bahwa perolehan hidrokarbon secara maksimal berada pada kelas batubara tersebut seiring dalam proses pematangan komponen organik itu sendiri walaupun tingkat kematangan baru memasuki tahapan awal kematangan dengan pertimbangan derajat kematangan (R_m) masih pada level 0,64% yang sering dikaitkan dengan reflektansi vitrinit (Davis et al., 2007; Finkelman, 2003). Sehingga ini menjadi bukti bahwa batubara pada formasi Sawahlunto di cekungan Ombilin berpotensi sebagai batuan induk hidrokarbon sesuai dengan Gambar 7.

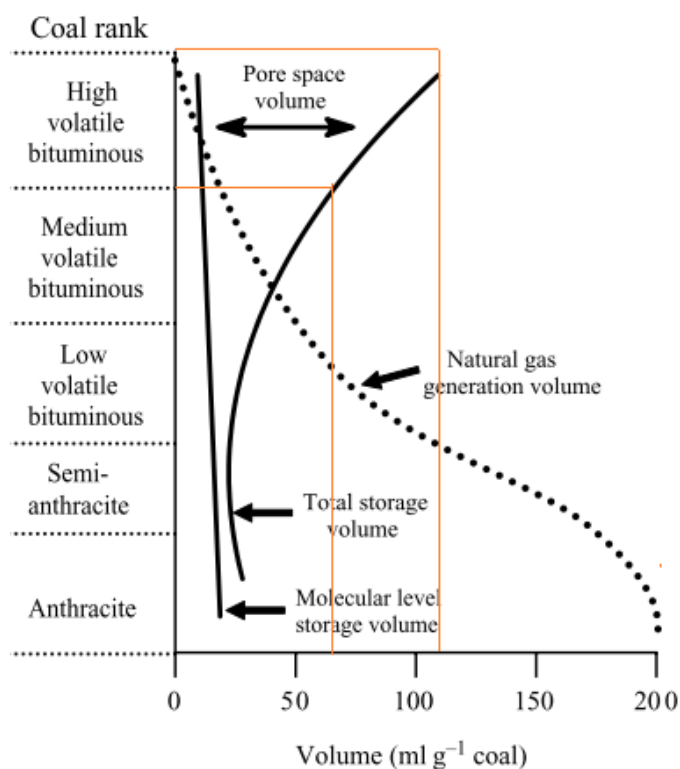


Gambar 7.

Zona pembentukan hidrokarbon berdasarkan kelas batubara, reflektansi vitrinit, dan tingkat kematangan organik, modifikasi dari (Finkelman, 2003)

Batubara yang tinggi kandungan zat terbang secara empiris memiliki karbon organik 80-90% (dry-ash free), rasio H/C 0,6-0,75 dan rasio O/C 0,1, cenderung terjadi kondensasi hidrokarbon hingga struktur kekurangan H dan O (Finkelman, 2003). Kondensasi yang dimaksud adalah dehidrasi hidrogen dan oksigen (Rushdi & Simoneit, 2004) sehingga senyawa karbon mengalami polimerisasi. Kelas batubara ini signifikan dalam pembentukan hidrokarbon turunan. Sifat kandungan zat terbang yang tinggi dapat membentuk hidrokarbon cair dan gas alam dari rekayasa pirolisis (Andayani, 2019). Pada proses tersebut, alifatik CH_x lebih terlibat, namun degradasi zat terbang disebabkan berkurangnya gugus alifatik dan alisiklik serta proses aromatisasi yang begitu meningkat (Voncken, 2020). Keberadaan alifatik dibuktikan dari studi analisis biomarka fraksi hidrokarbon batubara Ombilin (Zetra, 2018) dengan teknik ekstraksi teridentifikasi senyawa alkana rantai lurus dengan rentang C_{15} - C_{33} bagian dari kandungan suberinit penyumbang hidrokarbon rantai panjang (Khorasani & Khorasani, 1991).

Tipe kerogen III batubara yang diperkirakan untuk menghasilkan hidrokarbon ringan dapat dikaitkan dengan prospek gas metana batubara atau coal bed methane (CBM). Bahwa batubara ombilin yang termasuk dalam zona Sumatera Tengah disebut sebagai salah satu cekungan yang potensi tinggi terhadap produksi CBM (Belkin et al., 2009) yang didukung oleh karakter batuan induk yang telah dibuktikan dan kedalaman formasi yang dangkal. Sesuai dengan plot hubungan kelas batubara dan perolehan gas, pada Gambar 8, batubara formasi Sawahlunto yang berkelas bituminous high volatile secara empiris mampu menghasilkan gas alam atau CBM sekitar 55-105 ml/gram batubara.



Gambar 8. Plot hubungan antara kelas batubara dengan jumlah gas alam yang disimpan per gram batubara, modifikasi dari (Finkelman, 2003).

E. SIMPULAN DAN SARAN

Lingkungan pengendapan organik di cekungan Ombilin sebagai hasil dan lanjutan dari fenomena pembentukan sesar oroklin di Sumatera Barat teridentifikasi sumber hidrokarbon terbentuk pada lingkungan non laut pada periode Tersier berumur miosen-eosen adalah batubara pada formasi Sawahlunto. Tipe kerogen III batubara diperoleh dari hasil identifikasi proksimat, ultimat, petrografi, dan geokimia batuan induk. Sesuai dengan plot pada diagram Van Krevelen terhadap dominasi maseral vitrinit, rasio empiris hidrogen/karbon, oksigen/karbon, indeks hidrogen, dan derajat kematangan bahan organik berdasarkan studi review penelitian yang relevan, maka batubara formasi Sawahlunto berpotensi menghasilkan gas alam atau lebih spesifik dikenal sebagai gas metana batubara. Penelitian lanjutan yang direkomendasikan berupa studi identifikasi reservoir gas metana batubara pada formasi batubara Sawahlunto.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kepada CV. Tahiti Coal yang memberikan kesempatan berkunjung ke site untuk kegiatan penyelidikan geologi formasi Sawahlunto.

REFERENSI

- Andayani, R. D. (2019). *Pengaruh Temperatur Dan Peringkat Batubara Terhadap Konsentrasi Produk Gas Dalam Proses Pirolisis Batubara*. 6(1), 92–101.
- Anggara, A. A. P. dan F. (2022). Petrological, mineralogical, and geochemical compositions of coal in the Ombilin Basin, West Sumatra, Indonesia. *Petrological, Mineralogical, and Geochemical Compositions of Coal in the Ombilin Basin, West Sumatra, Indonesia*, 262. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.coal.2022.104099>
- Annisa, A., & Putri, K. S. (2021). *Identifikasi Variasi Maseral Berdasarkan Analisis Petrografi Di Formasi Warukin (SEAM O DAN SEAM P)*. 7(1), 61–63.
- Belkin, H. E., Tewalt, S. J., Hower, J. C., Stucker, J. D., & O'Keefe, J. M. K. (2009). Geochemistry and petrology of selected coal samples from Sumatra, Kalimantan, Sulawesi, and Papua, Indonesia. *International Journal of Coal Geology*, 77(3–4), 260–268. <https://doi.org/10.1016/j.coal.2008.08.001>
- Chen, Y., Corporation, P., Caro, L. D., & Schimmelmann, A. (2012). *Mapping the chemistry of resinite, funginite and associated vitrinite in coal with micro-FTIR*. February 2019. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2818.2012.03685.x>
- Crisnaldy, A. (2021). *Literatur Review Metodologi Penelitian*. Jurnal Universitas Palangkaraya. May.
- Davis, R. C., Noon, S. W., & Harrington, J. (2007). The petroleum potential of Tertiary coals from Western Indonesia: Relationship to mire type and sequence stratigraphic setting. *International Journal of Coal Geology*, 70(1-3 SPEC. ISS.), 35–52. <https://doi.org/10.1016/j.coal.2006.02.008>
- Fan, X., Mao, X., Liu, Z., Geng, T., & Wang, H. (2020). Journal of Petroleum Science and Engineering Organic geochemical characteristics and hydrocarbon generation potential of Jurassic shales and mudstones in Qixiang Co area southern Qiangtang Basin, Tibet. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 193(July 2019), 107377. <https://doi.org/10.1016/j.petrol.2020.107377>
- Fatimah, & Ward, C. R. (2009). Mineralogy and organic petrology of oil shales in the Sangkarewang Formation, Ombilin Basin, West Sumatra, Indonesia. *International Journal of Coal Geology*, 77(3–4), 424–435. <https://doi.org/10.1016/j.coal.2008.04.005>
- Finkelman, W. H. O. and R. B. (2003). *Treatise on Geochemistry // Coal Formation and Geochemistry*. 191–222.
- Hart, B. S., & Steen, A. S. (2015). Programmed pyrolysis (Rock-Eval) data and shale paleoenvironmental analyses: A review. *Interpretation*, 3(1), SH41–SH58. <https://doi.org/10.1190/INT-2014-0168.1>
- Herudiyanto, F. (2007). *Kandungan Sulfur dalam Batubara Indonesia*. Buletin Sumber Daya Geologi.
- Husein, S., Barianto1, D. H., Novian1, M. I., Putra2, A. F., Saputra2, R., Rusdiyantara2, M. A., & Nugroho, W. (2018). *Perspektif Baru Dalam Evolusi Cekungan Ombilin Sumatera Barat*. September, 5–6.
- Hutton, A., & Rob, T. (2018). *Chemical and Petrographic Classification of Kerogen / Macerals*. *Chemical and Petrographic Classification of Kerogen / Macerals*. January. <https://doi.org/10.1021/ef00048a038>
- International Committee for Coal and Organic Petrology. (1998). *The new vitrinite classification (ICCP System 1994)*. 77(5), 349–358.
- Irzon, R. (2022). Kondisi Pembentukan dan Pengaruh Diagenesis Batugamping dari Wilayah Solok dan Sekitarnya Berdasarkan Kadar Geokimia. *Jurnal Geologi Dan Sumberdaya Mineral*, 23(2), 81–89. <https://doi.org/10.33332/jgsm.geologi.v23i2.684>
- Jamaluddin, J., & Johannes Gedo Sea, J. G. S. (2018). Evaluasi Batuan Induk Berdasarkan Data Geokimia Hidrokarbon Pada Sumur Prabumulih, Cekungan Sumatra Selatan. *Jurnal Geomine*, 6(3), 109. <https://doi.org/10.33536/jg.v6i3.241>
- Khorasani, K., & Khorasani, K. (1991). *Geological and laboratory evidence for early generation of large amounts of liquid hydrocarbons from suberinite and subereous components*. 17(6).

- Koesoemadinata, R. P. (1981). *Stratigraphy and sedimentation: Ombilin Basin, Central Sumatra (West Sumatra Province). January 1981*. <https://doi.org/10.29118/ipa.343.217.249>
- Laksmi Sari, R., Abror, H., & Eklezia Dwi Saputri, E. (2022). Coal Bed Methane di Indonesia: Review dan Permasalahannya 1 Coal Bed Methane in Indonesia: Review and Problems. *Jurnal Teknologi Sumberdaya Mineral*, 3(1), 2022.
- Laksono, F. A. . (2021). *Analisis Kematangan Batuan Induk Hidrokarbon di Formasi Naintupo , Sub - Cekungan Tarakan , Provinsi Kalimantan Utara. December*. <https://doi.org/10.14710/teknik.v42i3.35821>
- Linggadipura, R. D., & Susilo, B. K. (2017). Lingkungan Pengendapan dan Karakteristik Batubara pada Formasi Sawahlunto Daerah Rantih dan Sekitarnya, Sumatera Barat. *Proceeding, Seminar Nasional Kebumihan Ke - 10, SEPTEMBER*, 505–525.
- Meili, D., Lei, L., Jinwen, F., Gang, L., Schobert, H. H., Yuchu, C., & Jianli, Y. (2020). Prediction and characterization of macromolecular structure of cutinite from luquan cutinitic liptobiolith with molecular simulation. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization and Environmental Effects*, 00(00), 1–16. <https://doi.org/10.1080/15567036.2020.1813222>
- Morton Schopf, J. (1948). *Variable Coalification: The Processes Involved In Coal Formation*.
- Moss, S. J., & Howellsj, C. G. (1996). An anomalously large liquefaction structure, Oligocene, Ombilin Basin, West Sumatra, Indonesia. In *Journal of Southeast Asian Earth Sciences* (Vol. 14).
- Mulyana, B., & Gani, G. M. (2015). Litostratigrafi Cekungan Ombilin Dalam Kerangka Tectono-Sedimentation Rift Basin. *Bulletin of Scientific Contribution*, 13(July), 93–99. <https://doi.org/10.24198/bsc>
- Murray, A. M., Zaim, Y., Rizal, Y., Aswan, Y., Gunnell, G. F., & Ciochon, R. L. (2015). A fossil gourami (Teleostei, Anabantoidae) from probable Eocene deposits of the Ombilin Basin, Sumatra, Indonesia. *Journal of Vertebrate Paleontology*, 35(2), 37–41. <https://doi.org/10.1080/02724634.2014.906444>
- O'shea, N., Arthur Bettis, E., Zaim, Y., Rizal, Y., Aswan, A., Gunnell, G. F., Zonneveld, J. P., & Ciochon, R. L. (2014). Paleoenvironmental conditions in the late Paleogene, Sumatra, Indonesia. *Journal of Asian Earth Sciences*, 111, 384–394. <https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2015.06.025>
- Packham, G. H. (1993). Plate tectonics and the development of sedimentary basins of the dextral regime in western Southeast Asia. In *Journal of Southeast Asian Earth Sciences* (Vol. 8).
- Patria, Aulia Agus, Anggara, F. (2019). Mikrofasis Dan Rekonstruksi Paleomire Batubara Sawahlunto, Cekungan Ombilin. *Prosiding Seminar Nasional Kebumihan Ke-12 " Peran Ilmu Kebumihan Dalam Pengembangan Geowisata, Geokonservasi & Geoharitage Serta Memperingati 35 Tahun Kampus Lapangan Geologi UGM 'Prof. Soeroso Notohadiprawiro' Bayat, Klaten," October*, 31–46.
- Peters, K. E. (1986). Guidelines for Evaluating Petroleum Source Rock Using Programmed Pyrolysis. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 70(3), 318–329. <https://doi.org/10.1306/94885688-1704-11d7-8645000102c1865d>
- Praptisih, Kamtono, & Hendrizan, M. (2011). Penelitian Batuan Induk (Source Rock) Hidrokarbon di Daerah Bogor, Jawa Barat. *Proceeding Pemaparan Hasil Penelitian Puslit Geoteknologi*, 63–67.
- Rushdi, A. I., & Simoneit, B. (2004). *Condensation Reactions and Formation of Amides, Esters, and Nitriles Under Hydrothermal Conditions. February*. <https://doi.org/10.1089/153110704323175151>
- Sahido, N. D. (2021). *Geofisika dalam eksplorasi dan pengembangan sumber daya hidrokarbon, mineral dan lingkungan. June*, 0–10.
- Santoso, B., & Daulay, B. (2005). *Vitrinite Reflectance Variation of Ombilin Coal According To Its Petrographic Analysis*. 9–20.
- Santoso, B., & Daulay, B. (2007). Comparative petrography of Ombilin and Bayah coals related to their origin. *Indonesian Mining Journal*, 10(9), 1–12.
- Setyono, A. E., & Kiono, B. F. T. (2021). Dari Energi Fosil Menuju Energi Terbarukan: Potret Kondisi Minyak dan Gas Bumi Indonesia Tahun 2020 – 2050. *Jurnal Energi Baru Dan*

- Terbarukan*, 2(3), 154–162. <https://doi.org/10.14710/jebt.2021.11157>
- Voncken, J. H. L. (2020). *Geology of Coal Deposits of South Limburg, The Netherlands* (Issue November). <https://doi.org/10.1007/978-3-030-18286-1>
- Zetra, J. K. dan Y. (2018). Karakteristik Geokimia Organik Fraksi Hidrokarbon Alifatik Batubara Sawahlunto, Cekungan Ombilin, Sumatra Barat. *JURNAL SAINS DAN SENI ITS*, 7(2).
- Zonneveld, J. P., Zaim, Y., Rizal, Y., Ciochon, R. L., Bettis, E. A., Aswan, & Gunnell, G. F. (2012). Ichnological constraints on the depositional environment of the Sawahlunto Formation, Kandi, northwest Ombilin Basin, west Sumatra, Indonesia. *Journal of Asian Earth Sciences*, 45, 106–113. <https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2011.06.017>