

Hubungan antara diagenesis, reflektan vitrinit, dan kematangan batuan pembawa hidrokarbon batuan sedimen Miosen di Cekungan Bengkulu

RACHMAT HERYANTO

Pusat Survei Geologi, Jln. Diponegoro No. 57, Bandung

SARI

Formasi Seblat berumur Miosen Awal-Tengah dan Formasi Lemau berumur Miosen Tengah-Akhir, adalah dua dari satuan batuan sedimen yang terbentuk dalam Cekungan Bengkulu. Secara litologi, Formasi Seblat terdiri atas batulumpur dengan sisipan batupasir dan konglomerat di bagian bawah, dan batulumpur tufan dengan lensa batugamping di bagian atas; sedangkan Formasi Lemau terdiri atas batupasir, bersisipan serpih dan konglomerat di bagian bawah dan batulumpur dengan sisipan batupasir dan batubara di bagian atas.

Diagram Indeks Hidrogen (HI) versus Temperatur Maksimum (T_{max}) memperlihatkan bahwa kematangan batuan sumber termasuk dalam belum matang akhir sampai matang awal. Reflektan vitrinit bahan organik tersebar (*dispersed organic matter/DOM*) dalam batuan sedimen, berkisar antara 0,37 - 0,55%, sedangkan dalam lapisan batubara 0,76 - 0,94% yang menunjukkan bahwa kematangan batuan sumber belum matang akhir sampai matang awal. Data ini menunjukkan kedalaman timbunan sekitar 2.500 m dengan paleotemperatur 80° C.

Proses diagenesis yang teramati dalam batupasir Formasi Seblat dan Formasi Lemau adalah kompaksi, pembentukan mineral autigenik, dan porositas sekunder. Tingkatan diagenesisnya termasuk dalam mesogenetik matang A, yang ekuivalen dengan batulumpur tingkat II, dengan temperatur purba 80° - 95° C dan kedalaman timbunan 2 sampai 3 km.

Keadaan tersebut menunjukkan adanya hubungan antara parameter diagenesis, nilai reflektan vitrinit dan peringkat kematangan bahan organik batuan sumber hidrokarbon, yang disebabkan oleh timbunan.

Kata kunci: Seblat, Lemau, diagenesis, kematangan termal, reflektan vitrinit, batuan sumber

ABSTRACT

The Early-Middle Miocene Seblat and Middle-Late Miocene Lemau Formations are two of sedimentary rock lithostratigraphic unit that occur in the Bengkulu Basin. Lithologically, the Seblat Formation consists of mudstone with some interbedded sandstones and conglomerate in the lower part and tuffaceous mudstone with some limestone lenses in the upper part. The Lemau Formation, however, comprises dominant sandstones with interbedded shales and sub-ordinate conglomerates and mudstone beds in the lower part, and mudstone with sandstone intercalations and coal seams in the upper part.

Hydrogen Index (HI) versus Temperature Maximum (T_{max}) diagram shows that the source rock maturation at most of the samples is late immature to early mature. The vitrinite reflectance the dispersed organic matter (DOM) ranges from 0.37 to 0.55%; whereas of the coal seam ranges from 0.76 up to 0.94%. This indicates that the source rock maturation is defined to be late immature to early mature. The data indicate a burial history for about 2,500 m in depth, where the paleotemperature reached 80° C.

Diagenetic processes observed from the Seblat and Lemau Sandstones are compaction, the forming of authigenic minerals and secondary porosities. The diagenetic stage includes the mesogenetic mature A, which equivalent to mudrock stage II, with the paleotemperature of 80° to 95° C, and the burial thickness of 2 to 3 km.

There is a relationship between diagenetic stage, vitrinite reflectance, and maturation of organic matter of hydrocarbon source rock, caused by the burial depth.

Keywords: Seblat, Lemau, diagenetic, thermal maturity, vitrinite reflectance, source rocks

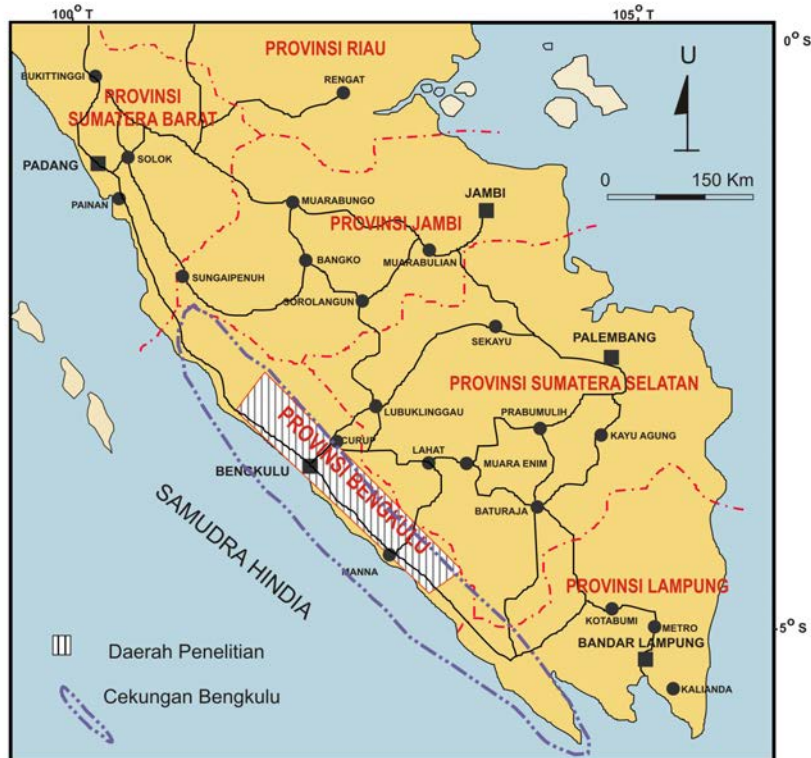
PENDAHULUAN

Cekungan Bengkulu merupakan cekungan busur muka di sebelah barat Pulau Sumatera. Cekungan ini ke arah timur laut dibatasi oleh Pegunungan Barisan. Secara administratif, daerah penelitian termasuk ke dalam Provinsi Bengkulu (Gambar 1).

Penelitian ini merupakan bagian dari penelitian sumber daya minyak bumi di Cekungan Bengkulu, Provinsi Bengkulu yang merupakan salah satu kegiatan penelitian di Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi (sekarang Pusat Survei Geologi) tahun 2005. Dalam penelitian tersebut diketahui adanya proses diagenesis, karakteristik bahan organ-

ik dengan kematangan termal pada batuan sumber hidrokarbon sedimen berumur Miosen di Cekungan Bengkulu. Dengan latar belakang tersebut, maksud dan tujuan tulisan ini adalah mengungkap proses diagenesis dan karakteristik bahan organik (reflektan vitrinit) sebagai indikator kematangan termal pada batuan sumber (*source rocks*) hidrokarbon sedimen Miosen di Cekungan Bengkulu.

Analisis laboratorium yang terdiri atas petrografi batuan sedimen, palinologi, petrologi organik, *scanning electron microscopy* (SEM), *total organic carbon* (TOC), dan pirolisis *Rock-Eval* digunakan untuk menunjang agar mengetahui tingkatan diagenesis sekaligus mengungkapkan kedalaman timbunan



Gambar 1. Peta lokasi daerah penelitian di Provinsi Bengkulu.

sedimen tersebut dan paleotermalnya.

Geologi Cekungan Bengkulu telah banyak dipublikasikan oleh penulis-penulis terdahulu, di antaranya adalah Gafoer dr. (1992), Amin dr. (1994), Yulihanto dr. (1995), Guntoro dan Djajadharja (2005), dan Heryanto (2005, 2006a,b, dan 2007).

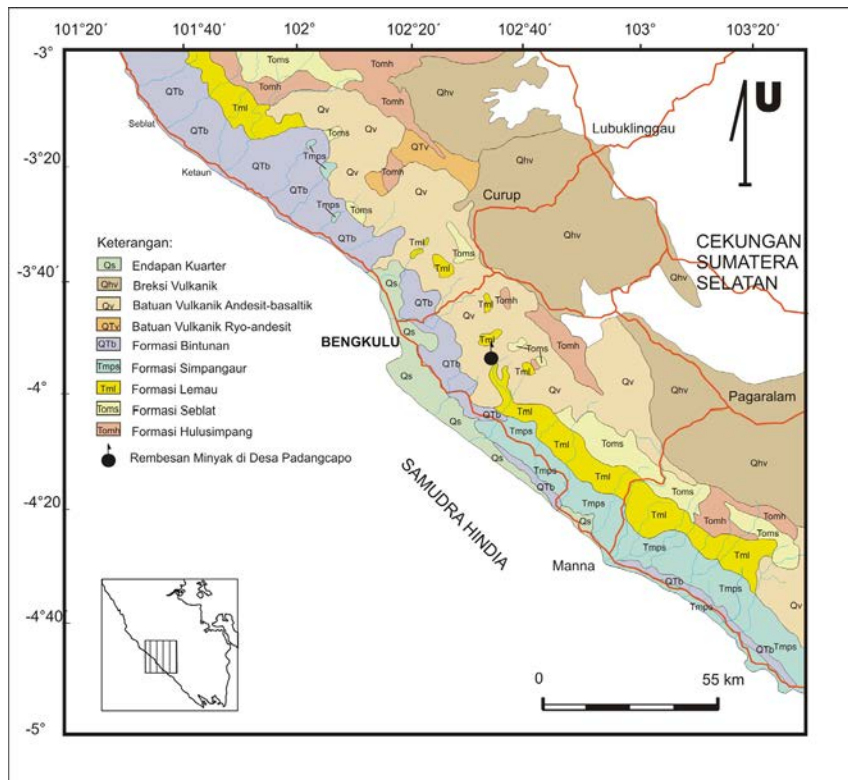
GEOLOGI REGIONAL

Batuan yang menempati daerah Bengkulu termasuk dalam Lajur Barisan dan Lajur Bengkulu. Lajur Barisan dibentuk oleh Formasi Hulusimpang, batuan terobosan dalam, Formasi Bal, Formasi Ranau, dan batuan gunung api. Satuan batuan yang termasuk Lajur Bengkulu merupakan batuan pendukung pada Cekungan Bengkulu, meliputi Formasi Seblat, Formasi Lemau, Formasi Simpangaur, Formasi Bintunan, dan satuan batuan gunung api berumur Kuartar (Gambar 2). Kolom stratigrafi Cekungan Bengkulu terlihat dalam Gambar 3, mem-

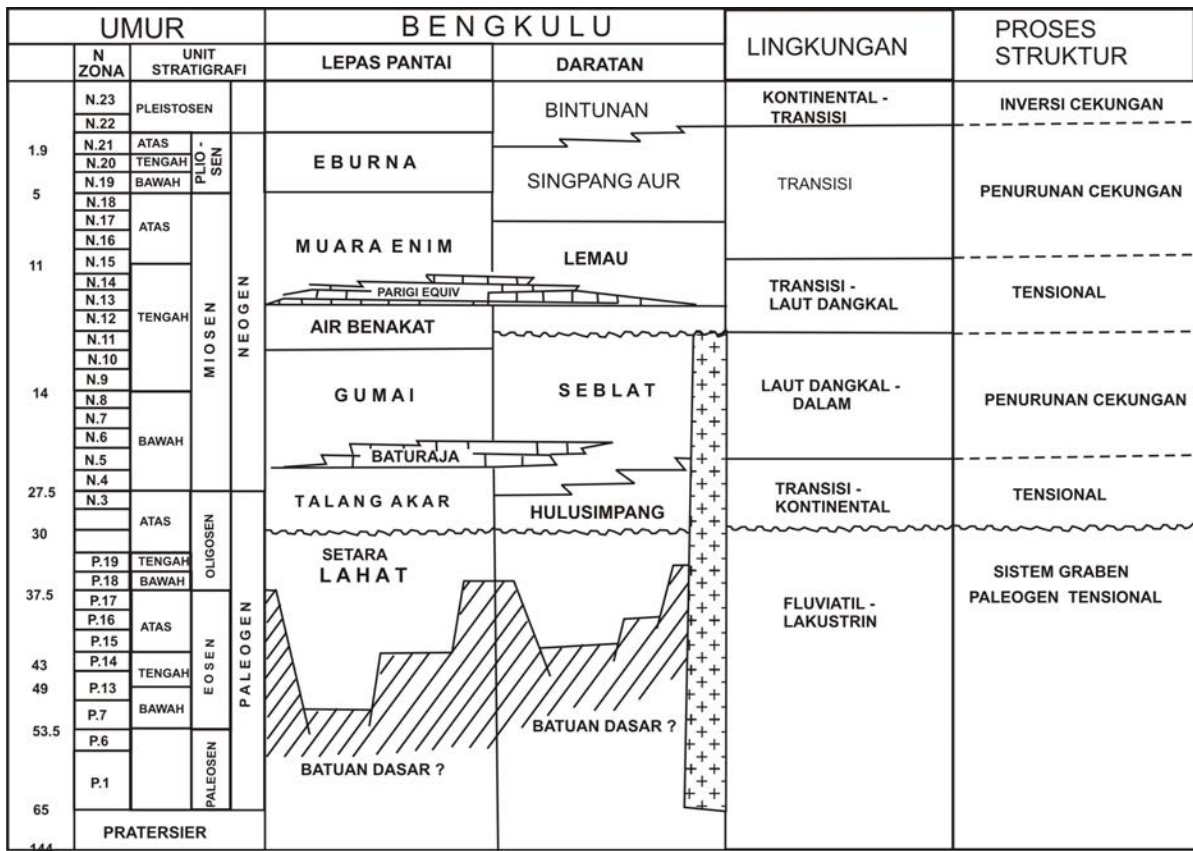
perlihatkan satuan batuan termasuk satuan batuan berumur Miosen.

Formasi Hulusimpang yang tersusun oleh lava, breksi gunung api, dan tuf merupakan batuan tertua yang tersingkap di daerah ini. Bagian atas formasi ini menjemari dengan bagian bawah Formasi Seblat yang berumur Miosen Bawah sampai Miosen Tengah dan terdiri atas perselingan batulempung, batulempung gampingan, batulanau dengan sisipan batupasir dan konglomerat. Batuan terobosan dalam, berumur Miosen Tengah, bersusunan granit hingga diorit, menerobos Formasi Hulusimpang dan Formasi Seblat (Gafoer dr., 1992; dan Amin dr., 1994).

Formasi Seblat ditindih secara tak selaras oleh Formasi Lemau (batulempung, batulempung gampingan, batubara, batupasir, dan konglomerat), berumur Miosen Tengah - Akhir dan terendapkan di daerah transisi sampai laut dangkal (Yulihanto dr., 1995). Kemudian formasi ini tertindih secara tak selaras oleh Formasi Simpangaur (batupasir konglomeratan, batupasir, batulumpur mengandung cang-



Gambar 2. Peta Geologi Cekungan Bengkulu (Simplifikasi dari Gafoer dr., 1992 dan Amin dr., 1994).

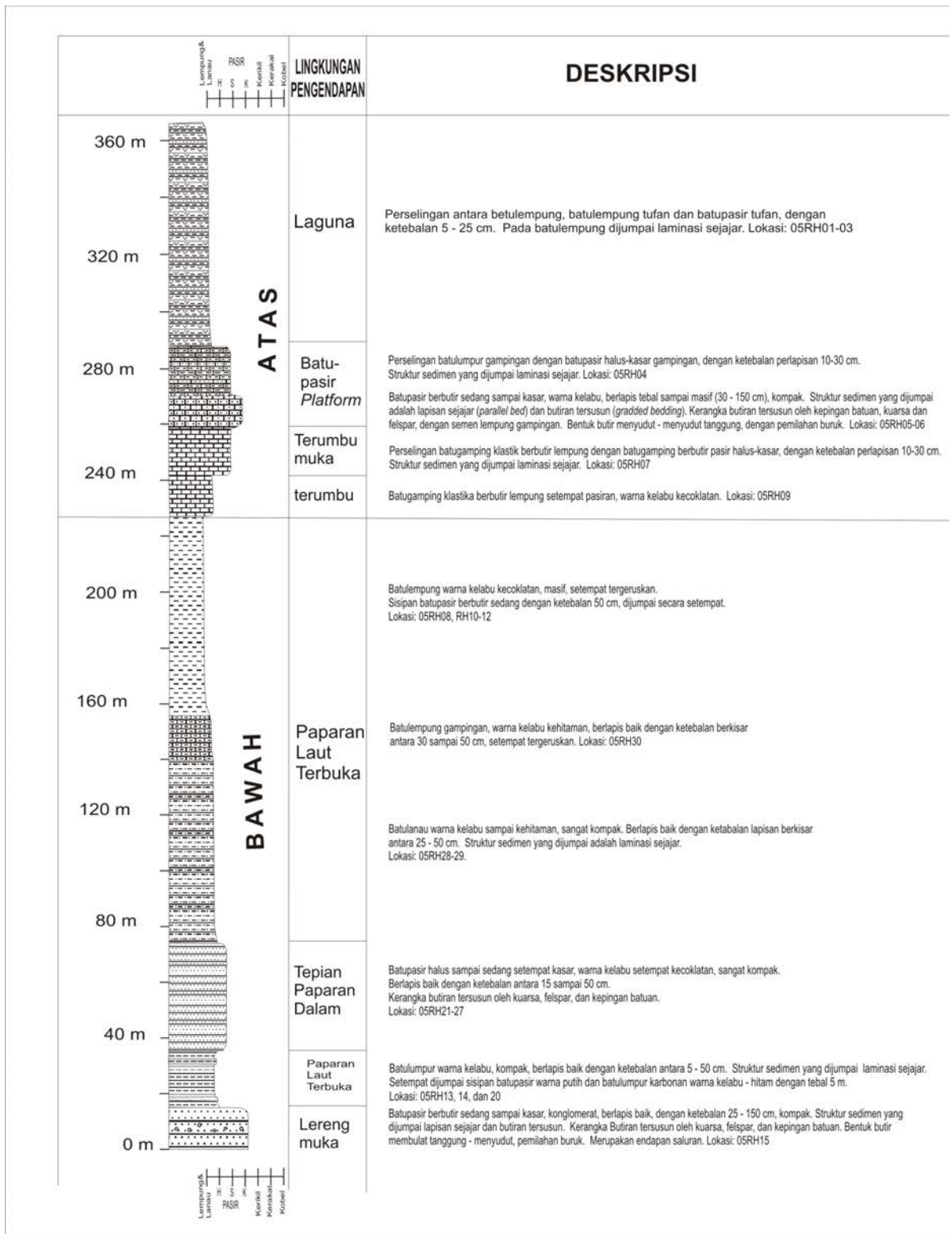


Gambar 3. Korelasi stratigrafi daerah lepas pantai dan darat di Cekungan Bengkulu (modifikasi dari Yulianto dr., 1995).

kang moluska, dan batupasir tufan), berumur Miosen Akhir – Pliosen, dan terendapkan di daerah transisi. Formasi Bintunan (batuan tufan, konglomerat polimik, tuf, dan batulempung tufan dengan sisipan lignit dan sisa tumbuhan) berumur Plio-Plistosen, diendapkan di lingkungan air tawar sampai payau dan setempat laut dangkal, menindih tak selaras Formasi Simpangaur (Gafoer dr., 1992), sedangkan menurut Yulianto dr. (1995; Gambar 3) bagian bawah Formasi Bintunan menjemari dengan bagian atas Formasi Simpangaur. Formasi Bintunan setara dengan Formasi Ranau yang tersingkap di Lembar Manna (Amin dr., 1994), terdiri atas breksi gunung api berbatuapung dan tuf riolitik-andesitik. Breksi gunung api tampak berwarna kekuningan, lunak, tidak berlapis, berkomponen kepingan batuapung dan lava andesit-basal di dalam matriks tuf pasiran (Amin dr., 1994). Kemudian satuan batuan yang termuda adalah aluvium yang terdiri atas bongkah, kerakal, pasir, lanau, lumpur, dan lempung.

LITOLOGI

Komposit penampang stratigrafi Formasi Seblat di hulu Sungai Kedurang tersaji dalam Gambar 4. Bagian bawah Formasi Seblat tersusun oleh batupasir berbutir kasar sampai konglomerat, berlapis baik dengan ketebalan 25 sampai 150 cm, komponen sebagian besar terdiri atas fragmen batuan (andesit dan sedikit batuan sedimen), diameter komponen berkisar 0,2 - 5 cm, bentuk butir membulat tanggung sampai menyudut tanggung, terpilah buruk dengan massa dasar batupasir halus tufan. Kemudian diikuti oleh batupasir berbutir halus sampai sedang dengan ketebalan perlapisan berkisar antara 5 sampai 50 cm (Gambar 5). Bagian atas formasi ini dimulai oleh runtunan batugamping klastik. Runtunan ini dimulai dari batugamping berbutir lempung yang diikuti oleh perselingan antara batugamping berbutir lempung dengan berbutir pasir halus - kasar. Kemudian ditindih oleh batupasir berbutir



Gambar 4. Komposit penampang stratigrafi Formasi Seblat di hulu Sungai Kedurang (Heryanto, 2006a).



Gambar 5. Foto singkapan batupasir Formasi Seblat, berbutir halus - sedang, memperlihatkan struktur sedimen lapisan sejajar, merupakan sisipan dalam batulumpur berlapis baik (kemiringan 80°); tersingkap di anak Sungai Cawang-pasang, hulu Sungai Kedurang (Heryanto, 2006a).

sedang sampai kasar, warna kelabu, berlapis tebal sampai masif (30 - 150 cm) yang diikuti oleh perselingan batulumpur gampingan dengan batupasir halus - kasar gampingan, dengan ketebalan 10-30 cm. Terakhir ditutupi oleh perselingan antara batulempung, batulempung tufan dan batupasir tufan, berketebalan 5 - 25 cm.

Runtunan Formasi Lemau di daerah utara teramati dalam kolom analisis inti bor CMB31 di daerah Sebayur, Ketaun (Gambar 6). Secara umum Formasi Lemau dapat dibagi dua, pada bagian bawah didominasi oleh batupasir dan bagian atas didominasi oleh batulempung dengan sisipan batubara. Di beberapa tempat, pada bagian atas Formasi Lemau juga dijumpai adanya sisipan batuan vulkanik dan lapisan lumpur pasiran yang mengandung cangkang moluska seperti yang dijumpai di daerah PT BIL, Seluma (Heryanto, 2005).

Batupasir dijumpai di bagian bawah formasi ini, berlapis baik dengan ketebalan berkisar antara 10 sampai 50 cm, setempat sampai dengan 150 cm, berbutir sedang sampai kasar, setempat konglomeratan (Gambar 7). Struktur sedimen yang dijumpai adalah lapisan sejajar, silang siur, dan butiran.

UNSUR DAN TINGKATAN DIAGENESIS

Diagenesis adalah proses perubahan fisik dan kimia yang terjadi setelah pengendapan, selama dan

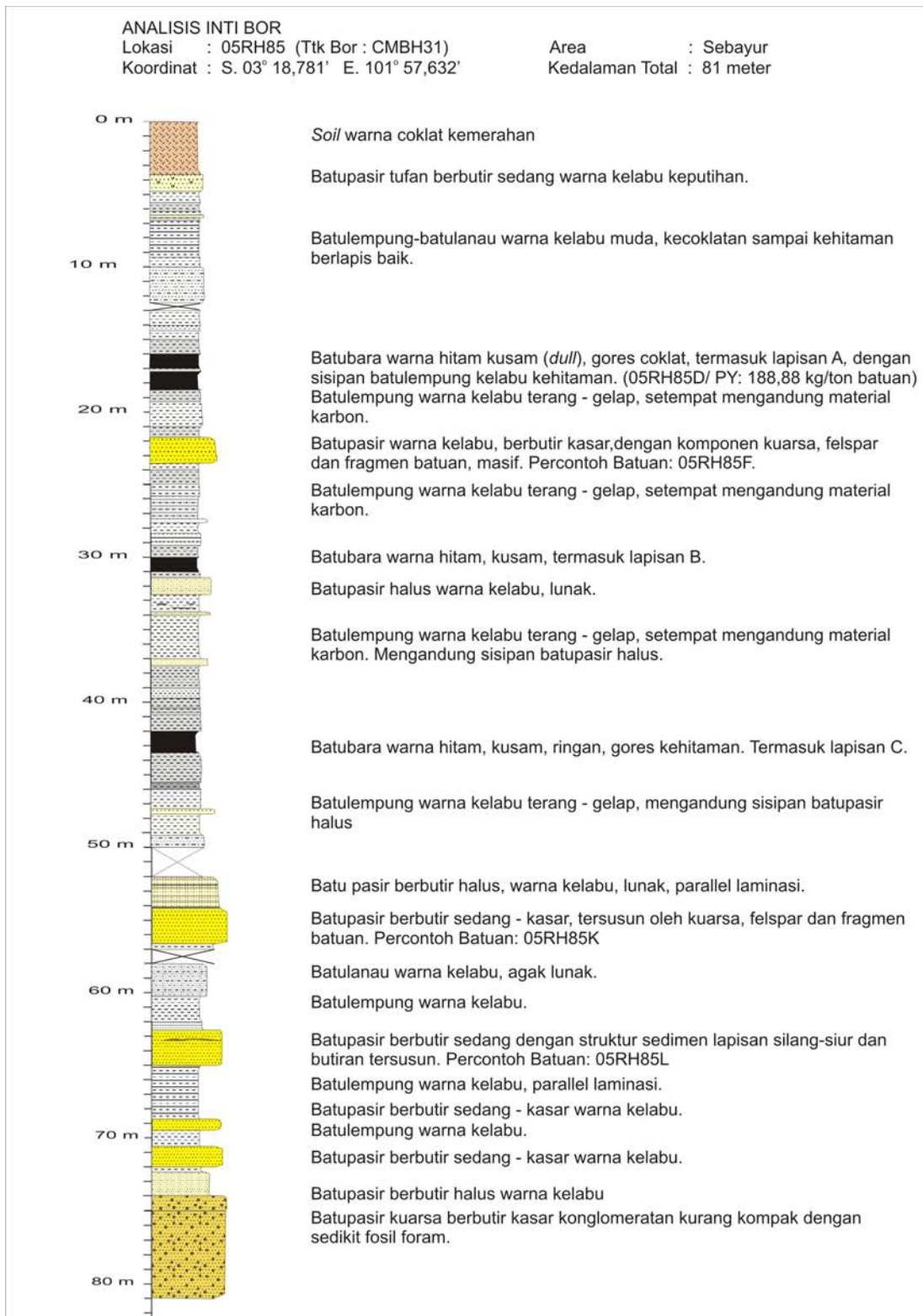
setelah pematangan (*lithification*). Proses tersebut dapat teramati melalui analisis petrografis batuan sedimen dengan mempergunakan mikroskop polarisasi dan *scanning electron microscope* (SEM). Proses diagenesis yang teramati dalam batupasir Formasi Seblat dan Lemau adalah kompaksi, pembentukan mineral autigenik dan pembentukan porositas sekunder (Heryanto, 2006a dan 2007). Penelitian diagenesis ini mempergunakan klasifikasi Schmidt dan McDonald (1979), Helmold dan van de Kamp (1984), Pettijohn dr. (1987), dan Burley dr. (1987).

Efek kompaksi batupasir Formasi Seblat dan Lemau yang teramati dalam sayatan pipih mikroskopis, antara lain butiran mika, felspar, kuarsa, dan kepingan sedimen. Efek kompaksi diawali pada butiran kepingan batuan lempung bersifat lunak tertusuk oleh butiran kuarsa dan kepingan batuan vulkanik yang relatif keras (Gambar 8). Efek kompaksi yang agak kuat, terlihat pada butiran mika, berbentuk pembengkokan karena bersifat lentur akibat ditekan oleh butiran lainnya yang relatif lebih keras. Kompaksi lebih kuat teramati dalam butiran kuarsa dan felspar (Gambar 9), yang terlihat telah teretakkan dan terpatahkan yang disebabkan oleh sifat fisik tidak lenturnya butiran kuarsa dan felspar.

Mineral autigenik adalah mineral yang terbentuk selama proses diagenesis. Ada beberapa macam mineral autigenik. Pertama berupa kristal sempurna (*euhedral crystal*), umumnya kuarsa, sfen laumontit, dan apatit. Kedua adalah kristal tumbuh (*overgrowths*), khususnya terjadi pada butiran kuarsa, plagioklas, dan K-felspar. Ketiga berupa semen-tasi seperti mineral laumontit, karbonat, dan silika. Terakhir pengisian rongga oleh mineral lempung (Gambar 10).

Porositas sekunder adalah semua rongga atau pori yang terbentuk selama proses diagenesis atau setelah pengendapan. Rongga atau pori ini dihasilkan oleh pelarutan (*dissolution*) kerangka butiran dan matriks. Porositas sekunder lainnya adalah rongga akibat retakan.

Porositas sekunder yang teramati dalam batupasir Formasi Seblat dan Lemau yang paling dominan adalah pelarutan kerangka butiran. Pelarutan teramati mulai dari larut sebagian sampai dengan larut seluruhnya (Gambar 11), kemudian rongga hasil pelarutan dari komponen fragmen vulkanik,



Gambar 6. Kolom stratigrafi inti bor di daerah Sebayur, Ketaun (Heryanto, 2006b).

kemudian diikuti oleh pembentukan mineral klorit antigenik dan apatit.

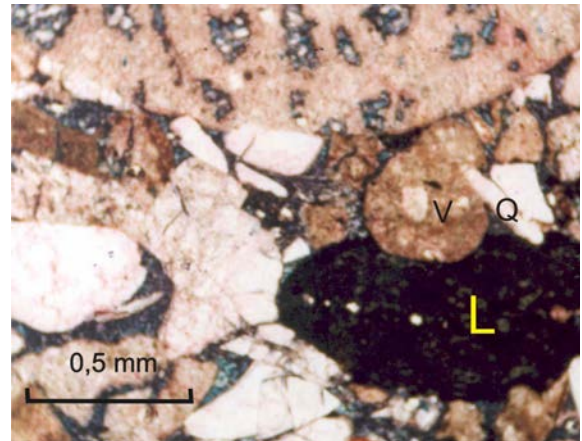
Dijumpainya mineral laumontit, porositas sekunder, sementasi kalsit, menunjukkan bahwa diagenesis batupasir Formasi Seblat dan Formasi Lemau termasuk dalam tingkatan diagenesis timbunan bawah permukaan yang dalam (*late deep subsurface*) atau kelompok C menurut Klasifikasi Helmold dan van de Kamp (1984). Sedangkan menurut klasifikasi Schmidt dan McDonald termasuk dalam Mesogenetik Matang A (*Mesogenetic Mature A*), dan menurut klasifikasi Pettijohn dr. (1987) termasuk dalam Tingkat 4 dengan kedalaman timbunan 5000 m, dengan paleotemperatur 166° C dan tekanan sekitar 1250 bar. Sementara itu menurut klasifikasi Burley dr. (1987), termasuk dalam Tingkat II, dengan paleotemperatur 80 – 95° C, dan kedalaman 2.000 - 3.000 m (Gambar 12).

KEMATANGAN TERMAL

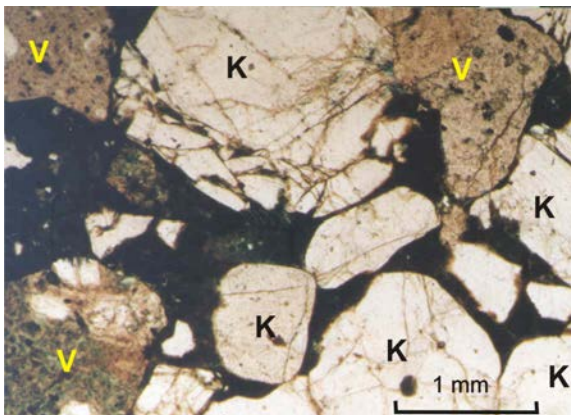
Untuk mengetahui kematangan organik pada batuan pembawa hidrokarbon (*source rock*) pada



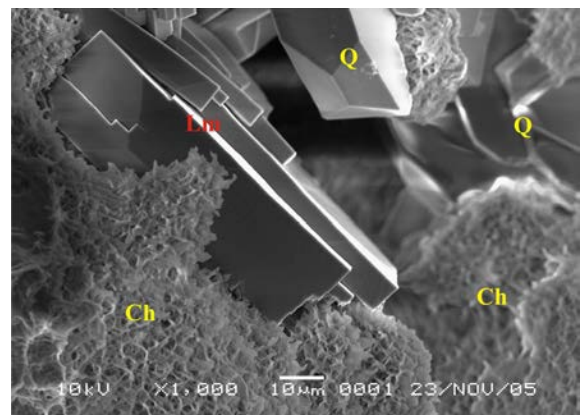
Gambar 7. Foto singkapan batupasir Formasi Lemau, berbutir sedang - kasar, tersingkap di Air Mangus Besar, pada lokasi 05RH56 (Heryanto, 2006b).



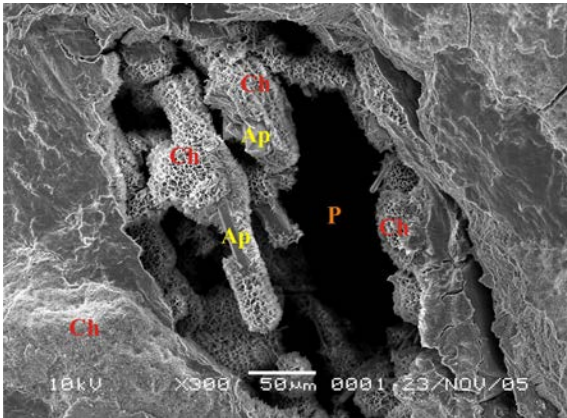
Gambar 8. Mikrofoto sayatan batupasir Formasi Seblat, menunjukkan fragmen batuan lempung (L), terlekkukan akibat tertekan oleh fragmen vulkanik (V) dan butiran kuarsa (Q). Batuan tersebut mengalami kompaksi (//nikol; Heryanto, 2006a).



Gambar 9. Mikrofoto sayatan pipih menunjukkan butiran fragmen vulkanik (V) dan butiran kuarsa (K) yang terkekarkan/terpecahkan akibat kompaksi atau gejala tektonik (//nikol; Heryanto, 2007).



Gambar 10. Mikrofoto SEM percontohan 05RH100B, dari batupasir litik, memperlihatkan mineral antigenik klorit (Ch), laumontit (Lm), dan kuarsa (Q) (Heryanto, 2007).



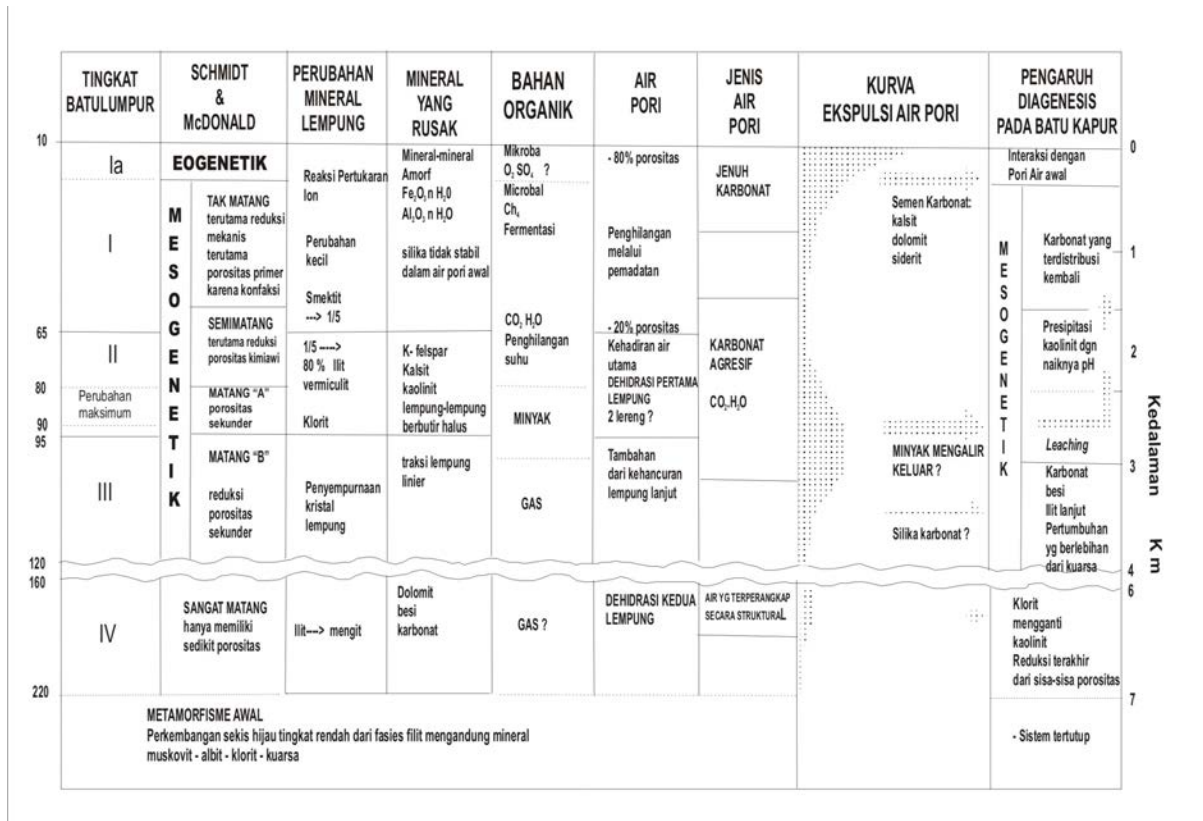
Gambar 11. Mikrofoto SEM percontoh batuan 05RH108B, batupasir lithic yang memperlihatkan porositas sekunder (P) yang dihasilkan oleh pelarutan/disolusi dari fragmen vulkanik dan diikuti oleh pembentukan mineral antigenik klorit (Ch) dan apatite crystals (AP) (Heryanto, 2007).

Cekungan Bengkulu dilakukan analisis petrografi dan geokimia organik.

Petrografi Organik

DOM yang dijumpai dalam batulumpur karbonan dalam Formasi Seblat dan Formasi Lemau tersaji dalam Tabel 1. Analisis bahan organik juga dilakukan pada lapisan batubara.

Analisis bahan organik pada DOM Formasi Seblat dan Formasi Lemau terdiri atas kelompok eksinit liptinit (0,1–3% dan 0,2–9%), vitrinit (1–2% dan 0,8–14,4%), dan inertinit (0–1% dan 0–2%). Kelompok eksinit terdiri atas alginit yaitu telalginit (0–1% dan 0–2%) dan lamalginit (0–1% dan 0–2%). Yang lainnya adalah resinit (0–2% dan 0,2–2%), sporinit (0–0,1% dan 0–2%), bituminit (0–2% dan 0–1%), kutinit (0–1% dan 0–1%) dan liptodetrinit (0–2% dan 0–2%). Reflektan vitrinit (Rv) pada Formasi Seblat tidak teridentifikasi, sedangkan pada Formasi Lemau 0,37–0,97% dan pada lapisan batubara adalah 0,76–0,94%. Beberapa percontoh batuan yang dianalisis secara mikroskopis menunjukkan bahwa nilai reflektan vitrinit di lokasi yang jauh dari terobosan batuan beku menunjukkan nilai



Gambar 12. Hubungan antara tingkat diagenesis dengan kedalaman timbunan (Burley dr., 1987).

Tabel 1. Analisis Maseral pada DOM Formasi Seblat dan Lemau

	Formasi Seblat	Formasi Lemau
VITRINIT	1 - 2 %	0,9 - 14,4%
EXINIT	0,1 - 6 %	0,2 - 9 %
Telalginit	0 - 1 %	0 - 2 %
Lamalginit	0 - 1 %	0 - 2 %
Resinit	0 - 2 %	0,2 - 3 %
Sporinit	0 - 0,1 %	0 - 2 %
Bituminit	0 - 2 %	0 - 1 %
Kutinit	0 - 1 %	0 - 1 %
Liptodetrinit	0 - 2 %	0 - 2 %
INERTINIT	0 - 1 %	0 - 2 %
Reflektan Vitrinit (Rv)	Tidak teridentifikasi	0,37 - 0,97 %
Jauh dari intrusi	-	0,37 - 0,55 % (normal)
Sekitar intrusi	-	< 0,76 %
Lapisan batubara (Rv)	-	0,76 - 0,94 %

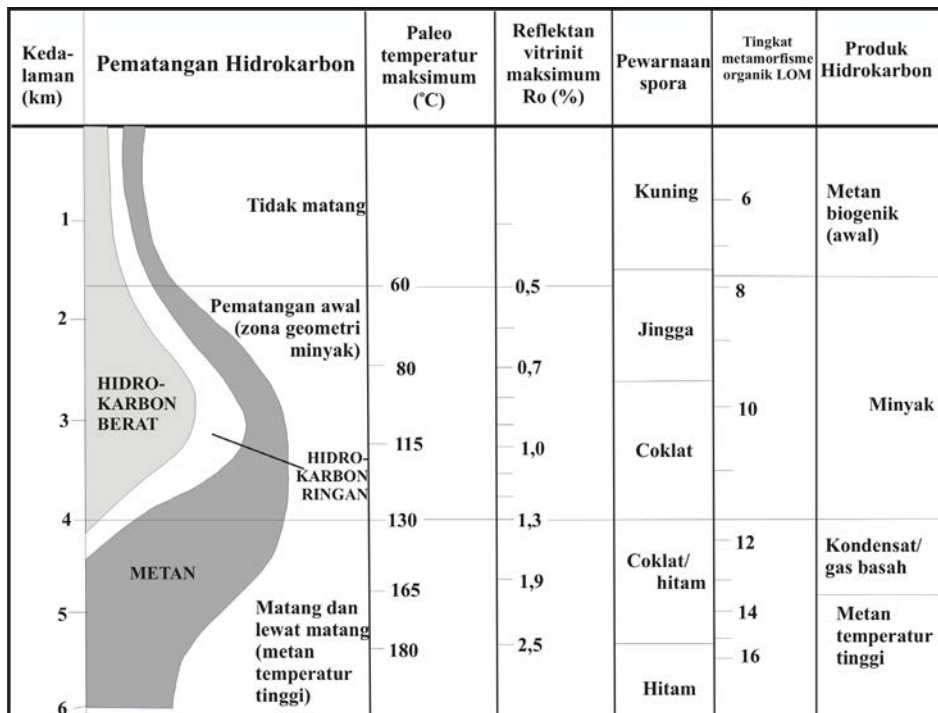
antara 0,37 - 0,55% (Tabel 1), sedangkan di daerah yang dekat dengan intrusi menunjukkan nilai lebih besar dari 0,76%.

Berdasarkan diagram Kanstler drr., (1978; Gambar 13), nilai reflektan vitrinit (0,37 - 0,55%) tidak terpengaruh oleh intrusi batuan beku. Keadaan tersebut menunjukkan bahwa fase kematangan organik batuan sumber berkisar antara belum matang sampai matang awal dan diyakini bahwa batuan sedimen Miosen telah pernah tertimbun di kedalaman timbunan sekitar 2.500 m dengan paleotemperatur bawah permukaan mencapai 80° C (Heryanto dan Panggabean, 2006).

Geokimia Organik

Analisis geokimia organik dilakukan berupa analisis *total organic carbon* (TOC) dan juga *Rock-Eval pyrolysis* pada 32 percontoh batuan berbutir halus dari Formasi Seblat dan Formasi Lemau (Tabel 2).

Sepuluh percontoh menunjukkan potensi hidrokarbon sangat baik (PY: 21-189 kg/ton batuan



Gambar 13. Korelasi umum indeks kematangan organik (Kantsler dr., 1987).

Tabel 2. Data TOC dan Pirolisis Formasi Seblat dan Lemau di Daerah Bengkulu

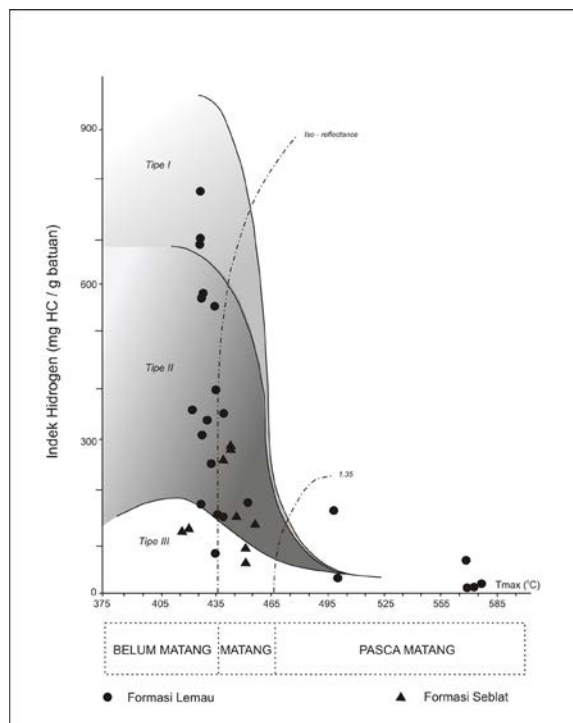
No.	No. Percontoh	Litologi	TOC (%)	S ₁ Kg/Tn	S ₂ Kg/Ton	PY Kg/Ton	PI	T _{max} (°C)	HI	Area	Formasi
1.	05RH11	Clst, dkgy, calc, sl, hd	1,37	0,45	3,89	4,34	0,10	440	284	Kdrng	Seblat
2.	05RH17	Clst, dkgy, calc, hd	1,37	0,45	3,89	4,34	0,10	440	284	Kdrng	Seblat
3.	05RH20B	Sh, dkgy	1,54	1,04	0,79	1,83	0,57	453	51	Kdrng	Seblat
4.	05RH27	Clst, dkgy, calc, hd	1,16	0,55	1,15	1,70	0,32	452	99	Kdrng	Seblat
5.	05RH30	Clst, dkgy-gy, hd	1,40	0,44	1,86	2,30	0,19	455	133	Kdrng	Seblat
6.	05RH32	Clst, dkgy/blk, calc, hd	0,22	0,13	0,35	0,48	0,27	447	159	Tjskt	Seblat
7.	05RH34	Clst, dkgy/blk, calc, hd	1,22	0,75	1,53	2,28	0,33	418	126	Tjskt	Seblat
8.	05RH37	Clst, dkgy, calc	1,24	0,27	3,09	3,36	0,08	439	250	Tjskt	Seblat
9.	05RH50D	Clst, dkgy	8,68	0,50	14,77	15,27	0,03	426	170	DMH	Lemau
10.	05RH50G	Clst, gy-meddkgy	1,55	0,21	2,47	2,68	0,08	440	159	DMH	Lemau
11.	05RH50H	Clst, dkgy/blk, hd	9,57	1,05	23,64	24,69	0,04	433	247	DMH	Lemau
12.	05RH50J	Clst, brgy-brn	6,09	0,66	21,44	22,10	0,03	443	352	DMH	Lemau
13.	05RH51A	Clst, dkgy/blk, hd	3,53	0,08	0,10	0,18	0,44	570	3	DMH	Lemau
14.	05RH51D	Clst, dkgy/blk, hd	1,05	0,03	0,04	0,07	0,43	577	4	DMH	Lemau
15.	05RH52A	Sh, dkgy/blk, hd	3,15	0,06	0,11	0,17	0,35	572	3	DMH	Lemau
16.	05RH53C	Sh, dkgy, blk, coal st	11,53	0,95	20,12	21,07	0,05	453	174	DMH	Lemau
17.	05RH54B	Clst, gydkgy, slcsde	0,65	0,11	0,12	0,23	0,48	510	19	DMH	Lemau
18.	05RH60C	Clst, dkgy	3,01	0,62	9,16	9,78	0,06	427	304	Nplpth	Lemau
19.	05RH65	Clst, med gy	0,85	0,02	0,74	0,76	0,03	435	87	Nplpth	Lemau
20.	05RH71A	Sh, brn.dkgy, slty, crb	14,71	3,62	113,68	117,30	0,03	426	773	Tjgdln	Lemau
21.	05RH73B	Sh, vdkgy, slty	8,59	0,75	60,36	61,11	0,001	426	703	Tjgdln	Lemau
22.	05RH74D	Clst, dkgy, calc, sndy	3,85	0,32	4,57	4,89	0,07	416	119	Nplpth	Seblat
23.	05RH75A	Sh, dkgy, carb	5,39	0,40	29,62	30,02	0,01	434	550	Sbayur	Lemau
24.	05RH81	Sh, dkgy/blk, carb	8,65	0,64	48,96	49,60	0,01	427	566	Sbayur	Lemau
25.	05RH84	Sh, dkgy, blk, coaly	9,81	0,88	55,68	56,56	0,02	426	568	Sbayur	Lemau
26.	05RH85D	Sh, dkgy, coaly	27,09	1,04	187,84	188,88	0,001	426	693	Sbayur	Lemau
27.	05RH85I	Sh, dkbrn, blk, carb	4,45	0,17	15,08	15,25	0,001	430	339	Sbayur	Lemau
28.	05RH87B	Clst, dkgy, slty	2,73	0,00	4,23	4,23	0,00	435	155	Lemau	Lemau
29.	05RH101D	Sh, dkgy/blk, coaly	23,58	0,24	84,24	84,48	0,00	421	357	BBU	Lemau
30.	05RH102C	Clst, vdkgy/blk	0,72	0,03	1,16	1,19	0,03	502	161	BBU	Lemau
31.	05RH104B	Sh, brn.dkgy, slty, crb	2,62	0,17	10,46	10,63	0,02	435	399	BBU	Lemau
32.	05RH107B	Clst, dkgy, hd, splntry	0,64	0,01	0,47	0,48	0,02	569	74	BIL	Lemau

Keterangan:

- | | | | |
|----------------|-------------------------------------------------------------------------|-------|------------------|
| TOC | : Jumlah bahan organik | Clst | : batulempung |
| S ₁ | : Kuantitas hidrokarbon bebas | slst | : batulanau |
| S ₂ | : Kuantitas hidrokarbon dari kerogen | ss | : batupasir |
| PY | : Jumlah hidrokarbon (S ₁ + S ₂) | carb | : karbonat |
| PI | : Indeks Produksi = S ₁ / (S ₁ + S ₂) | calc | : calcareous |
| T max | : Temperatur maksimum (°C) untuk formasi hidrokarbon dari kerogen | brngy | : coklat abu-abu |
| HI | : Indeks Hidrogen | Gy | : abu-abu |
| TDD | : Tidak pasti | dkgy | : abu-abu gelap |
| Sh | : Serpih | blk | : hitam |
| lam | : berlapis | Gywh | : abu-abu putih |

dan TOC: 4,5-23,6%), dan empat percontoh menghasilkan potensi yang baik (PY: 9,8-15,3 kg/ton batuan dan TOC: 2,6-8,7%). Percontoh batuan tersebut diatas adalah dari Formasi Lemau. Delapan percontoh batuan lainnya mempunyai nilai cukup (PY: 2,3-4,9 kg/ton batuan dan TOC: 2,4-3,8%). Dua percontoh batuan ini termasuk Formasi Lemau dan enam lainnya termasuk Formasi Seblat. Kemudian sisanya termasuk kategori miskin.

Diagram Hidrogen Indeks (HI) versus Temperatur Maksimum (T_{max}) menunjukkan tingkat kematangan batuan pembawa hidrokarbon yang belum matang akhir sampai matang awal (Gambar 14). Diagram ini juga menunjukkan tiga percontoh dari Formasi Lemau termasuk kerogen tipe I, 13 percontoh dari Formasi Lemau dan lima percontoh dari Formasi Seblat termasuk kerogen tipe II, dan dua percontoh dari Formasi Lemau dan empat percontoh dari Formasi Seblat termasuk kerogen tipe III. Lima percontoh lainnya tidak termasuk kategori tersebut.



Gambar 14. Diagram Indeks Hidrogen (HI) versus T_{max} yang menunjukkan tipe kerogen dan kematangan hidrokarbon di daerah penelitian.

DISKUSI

Proses diagenesis dalam batupasir Formasi Seblat dan Formasi Lemau adalah kompaksi, pembentukan mineral autigenik dan porositas sekunder. Dijumpainya mineral laumontit, porositas sekunder, dan sementasi kalsit menunjukkan bahwa tingkatan diagenesis batupasir Formasi Lemau termasuk dalam tingkatan diagenesis timbunan bawah permukaan yang dalam (*late deep subsurface*) atau kelompok C menurut klasifikasi Helmold dan van de Kamp (1984). Menurut klasifikasi Schmidt dan McDonald (1979), dijumpainya porositas sekunder hasil pelarutan mineral felspar dan fragmen vulkanik, menunjukkan bahwa tingkat diagenesis pada batupasir Formasi Seblat dan Formasi Lemau termasuk dalam tingkat Mesogenetik Matang A (*Mesogenetic Mature A*), yang ekuivalen dengan klasifikasi Mudrock Tingkat II dari Burley dr. (1987), dengan paleotemperatur 80 - 95° C, dan kedalaman 2.000 - 3.000 m (Gambar 12). Sementara itu menurut klasifikasi dari Pettijohn dr. (1987) termasuk dalam Tingkat 4 dengan kedalaman timbunan 5.000 m, paleotemperatur 166° C, dan tekanan sekitar 1.250 bar. Dari klasifikasi tersebut di atas terdapat perbedaan kedalaman timbunan yang menghasilkan proses diagenesis tersebut yaitu 2.000-3.000 m dan 5.000 m. Berdasarkan urutan stratigrafis di Cekungan Bengkulu, tebal batuan yang menindih Formasi Seblat dan Formasi Lemau, yaitu Formasi Simpangaur, Bintunan, dan batuan Kuartar secara keseluruhan tidak lebih dari 3.000 m. Dengan demikian yang lebih cocok adalah diagram klasifikasi tingkat diagenesis Schmidt dan McDonald (1979) dan klasifikasi *Mudrock* dari Burley dr. (1987), yaitu dengan kedalaman 2.000 sampai 3.000 m.

Nilai reflektan vitrinit (0,37 - 0,55%), menurut diagram Kanstler dr., (1978; Gambar 13), menunjukkan bahwa kematangan organik di dalam batuan sedimen klastika berkisar antara belum matang sampai matang awal. Hal ini ditunjang juga oleh hasil analisis geokimia organik dengan diagram Indeks Hidrogen (HI) versus Temperatur maksimum (Gambar 14) yang menunjukkan tingkat kematangan berkisar dari belum matang akhir sampai matang awal. Tingkat kematangan tersebut dihasilkan oleh kedalaman timbunan sekitar 2.500 m dengan paleotemperatur 80° C (Kanstler dr., 1978).

Data tersebut di atas menunjukkan bahwa tingkat

diagenesis dan reflektan vitrinit merupakan suatu indikator kematangan batuan pembawa hidrokarbon di batuan sedimen berumur Miosen di Cekungan Bengkulu, namun kesemuanya disebabkan oleh proses timbunan (*burial history*), dengan kedalaman timbunan berkisar antara 2.000 sampai 3.000 m, yang menghasilkan paleotemperatur antara 80° - 95° C.

KESIMPULAN

Proses diagenesis yang terjadi pada batuan sedimen berumur Miosen Formasi Seblat dan Formasi Lemau termasuk tingkat diagenesis Mesogenesis Matang A yang ekuivalen dengan Klasifikasi *Mudrock* Tingkat II.

Reflektan vitrinit DOM dan lapisan batubara pada batuan sedimen Formasi Seblat dan Formasi Lemau berkisar antara 0,37 - 0,55%, dengan kematangan organik belum matang akhir sampai matang awal. Diagram Indeks Hidrogen (HI) versus Temperatur maksimum (T_{max}) percontoh batuan pembawa hidrokarbon batuan sedimen Formasi Seblat dan Formasi Lemau, juga menunjukkan tingkat kematangan belum matang akhir sampai matang awal.

Tingkat diagenesis, reflektan vitrinit dan kematangan batuan sumber hidrokarbon, disebabkan oleh proses penimbunan dengan kedalaman timbunan berkisar antara 2.000 - 3.000 m, yang menghasilkan paleotemperatur antara 80° - 95° C.

Ucapan Terima Kasih—Ucapan terima kasih terutama ditujukan kepada Kepala Pusat Survei Geologi yang telah memberikan dukungan mulai dari penelitian lapangan sampai dengan penulisan makalah ini. Selain itu ucapan terima kasih ini juga ditujukan kepada rekan sejawat yang telah memberikan saran, kritik, dan diskusi mengenai makalah ini.

ACUAN

- Amin, T.C., Kusnama, Rustandi, E., dan Gafoer, S., 1994. *Geologi Lembar Manna dan Enggano, Sumatera, Skala 1:250.000*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.
- Burley, S.D., Kantorowicz, J.D., dan Waugh, B., 1987. Clastic Diagenesis. Dalam: Edward, A.B., dan Foster, N.H.(Ed), Reservoir II Sandstone. *American Association of Petroleum Geologists, Treatise of Petroleum Geology Reprint Series*, p. 408-455.
- Gafoer, S., Amin, T.C., dan Pardede, R., 1992. *Geologi Lembar Bengkulu, Sumatera Skala 1:250.000*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.
- Guntoro, A., dan Djajadiharja, Y.S., 2005. Tectonic Scenario of the Sumatra Fore-Arc Basin in Relation To the Formation of Petroleum Systems. *International Conference on Geology, Geotechnology and Mineral Resources of Indochina (GEOINDO 2005)* 28-30 November 2005, Khon Kaen, Thailand.
- Helmod, K.P. and van de Kamp, P.C., 1984. Diagenetic mineralogy and controls on albitization and laumontite formation in Paleogen Arkose, Santa Yenz Mountains, California. In: McDonald, D.A. and Surdam, R.C. (Eds), Clastic Diagenesis. *American Association of Petroleum Geologist, Memoir*, 37, p. 239-276.
- Heryanto, R., 2005. *Laporan Penelitian Sumber Daya Hidrokarbon di Cekungan Bengkulu, Bengkulu*. Pusat Penelitian Pengembangan Geologi, Badan Geologi, Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral (Laporan Internal).
- Heryanto, R., 2006a. Karakteristik Formasi Seblat di Daerah Bengkulu Selatan. *Jurnal Sumber Daya Geologi*, 16, h. 179-195.
- Heryanto, R., 2006b. Provenance batupasir Formasi Lemau di Cekungan Bengkulu. *Seminar Nasional Geologi Indonesia: "DINAMIKA DAN PRODUKNYA"*. Pusat Survei Geologi, Bandung, 5-6 Desember 2006.
- Heryanto, R., 2007. Diagenesis Batupasir Formasi Lemau di Cekungan Bengkulu dan Potensinya sebagai Batuan Reservoir Hidrokarbon. *Mineral dan Energi*, 5, h. 58-70.
- Heryanto, R. dan Panggabean, H., 2006. The Tertiary Source Rock Potential of the Bengkulu Basin. *International Geosciences Conference and Exhibition*, Jakarta, 14-16 Agustus 2006.
- Kantsler, A.J., Cook, A.C., and Smith, G.C., 1978. Rank variation, calculated paleotemps in understanding oil, gas occurrence. *Oil and Gas Journal*, Nov. 20, 196-205.
- Pettijohn, F.J., Potter, P.E., and Siever, R., 1987. *Sand and Sandstone*. 2nd ed. Springer-Verlag, New York, 553p.
- Schmidt, V. and McDonald, D.A., 1979. The role of secondary porosity in the course of sandstone diagenesis. In: Schole, P.A. and Schluger, P.R. (Eds), Aspect of diagenesis. *Society of Economic Paleontologist and Mineralogist, Special Publication*, 26, p. 175-207.
- Yulihanto, B., Situmorang, B., Nurdjajadi, A., dan Sain, B., 1995. Structural Analysis of the onshore Bengkulu Forearc Basin and Its Implication for Future Hydrocarbon Exploration activity. *Proceedings, Indonesian Petroleum Association Twenty Fourth Annual Convention*, October 1995.