



Studi Geokimia Organik Batuan Sedimen Berumur Trias di Cekungan Maliana, Timor-Leste: Tinjauan Awal Kemungkinan Sebagai Batuan Induk

Joanico Pires², Eddy Ariyono Subroto¹, dan Asep H.P. Kesumajana¹

¹Program Studi Teknik Geologi, Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumihan, Institut Teknologi Bandung (ITB)
Jl. Ganesha No.10, Bandung 40132, Jawa Barat, Indonesia.

²*Instituto de Geociências de Timor-Leste - Instituto Público (IGTL.IP)*
Rua Delta 1, Aimutin Comoro, Dili, Timor-Leste

ABSTRAK

Artikel Info:

Naskah Diterima:
21 Maret 2024

Diterima setelah
perbaikan:
21 Maret 2024

Disetujui terbit:
01 April 2024

Kata Kunci:

bobonaro
cekungan maliana
Timor Leste
formasi aitutu
formasi babulu
geokimia

Kondisi lingkungan purba yang bervariasi sangat berpengaruh terhadap karakteristik batuan induk di suatu daerah. Daerah penelitian terletak di daerah Bobonaro, Cekungan Maliana, di area daratan (onshore) Timor-Leste. Kajian yang dilakukan di dalam penelitian ini meliputi tatanan geologi, struktur geologi, dan kondisi geologi lainnya, serta dilakukan pengambilan sampel batuan sedimen yang khusus diambil dari formasi yang berumur Trias Tengah-Akhir (Formasi Babulu) dan Trias Akhir (Formasi Aitutu). Sampel batuan sedimen yang diambil berjumlah 136 sampel. Terhadap sampel tersebut dilakukan analisis dasar geokimia, yaitu kekayaan (TOC dan S₂). Data nilai TOC dipergunakan untuk seleksi awal dengan batas bawah kandungan TOC 0,5% berat. Untuk seleksi kedua yang seharusnya didasarkan atas nilai kandungan S₂ (hasil analisis *Rock-Eval*) tidak dilakukan, karena hasil analisis kematangan berdasarkan T_{max} dan kemudian dikonfirmasi dengan data reflektansi vitrinit (R_o), sampel batuan sedimen tersebut pada umumnya menunjukkan tingkat kematangan yang tinggi, di atas 440°C untuk T_{max} dan 0,8% R_o. Setelah seleksi awal dilakukan, ternyata jumlah sampel yang terpilih tersisa delapan sampel, enam sampel dari Formasi Aitutu dan dua sampel Formasi Babulu. Kedelapan sampel ini kemudian dianalisis dan diinterpretasi. Berdasarkan analisis data TOC, Formasi Babulu memiliki kekayaan sedang sampai dengan baik dengan nilai TOC antara 0,52 % dan 5,54%, sedangkan Formasi Aitutu memiliki nilai TOC antara 0,54% dan 12,25%. Analisis kematangan yang dilakukan terhadap anggota klastik dan serpih Formasi Babulu dan anggota karbonat Formasi Aitutu, menunjukkan bahwa sampel tersebut sudah memasuki kematangan jendela minyak, dengan T_{max} 428-5540 C dan R_o antara 0,68 dan 1,47%. Tipe kerogen yang dikandung sampel Formasi Babulu dan Formasi Aitutu adalah campuran tipe II-III, tetapi terdapat juga kerogen tipe 1 di dalam sebuah sampel Formasi Aitutu. Hasil analisis menyeluruh menunjukkan bahwa kedua formasi tersebut (Babulu dan Aitutu) dapat dikategorikan sebagai batuan induk efektif, batuan induk yang sudah mampu menghasilkan hidrokarbon.

ABSTRACT

Varying ancient environmental conditions greatly influence the characteristics of source rock in a certain area. The research area is located in the Bobonaro area, Maliana Basin, in the onshore area of Timor-Leste. The studies carried out in this research included the geological setting, geological structure, and other geological conditions, as well as

Korespondensi:

E-mail: eddy.subroto@itb.ac.id (Eddy Ariyono Subroto)

sedimentary rock samples taken specifically from formations of Middle-Late Triassic (Babulu Formation) and Late Triassic (Aitutu Formation) ages. There were 136 sediment rock samples taken. On these samples, basic geochemical analysis was carried out, namely source richness (TOC and S₂). TOC value data is used for screening with a lower limit of TOC content 0.5 weight%. The second selection, which should have been based on the S₂ content value (results of the Rock-Eval pyrolysis), was not carried out, because the results of the maturity analysis based on T_{max} and then confirmed with vitrinite reflectance (R_o) data for the sedimentary rock samples generally showed a relatively high maturity level, above 440°C for T_{max} and 0.8% R_o. After the basic selection was carried out, it turned out that the number of selected samples remained eight samples, six samples from the Aitutu Formation and two samples from the Babulu Formation. These eight samples were then analyzed and interpreted. Based on TOC data analysis, the Babulu Formation has moderate to good richness with TOC values between 0.52% and 5.54%, while the Aitutu Formation has TOC values between 0.54% and 12.25%. Maturity analysis carried out on the clastic and shale members of the Babulu Formation and carbonate members of the Aitutu Formation, shows that these samples have entered oil window maturity, with T_{max} 428-554°C and R_o between 0.68 and 1.47%. Type of kerogen contained in the samples of the Babulu Formation and Aitutu Formation are mixed types II-III, but there is also type I kerogen in a sample of the Aitutu Formation. The results of a comprehensive analysis show that the two formations (Babulu and Aitutu) can be categorized as effective source rocks, source rock that might have yielded hydrocarbons.

© LPMGB - 2024

PENDAHULUAN

Negara Timor Leste termasuk negara yang mempunyai sumber hidrokarbon. Sementara ini yang lebih dikenal sebagai penghasil hidrokarbon adalah daerah lepas pantainya. Walaupun banyak ditemukan rembesan di daerah daratan, akan tetapi studi tentang batuan induk di daerah Timor Leste masih terbatas. Di samping laporan yang dibuat oleh beberapa perusahaan yang bekerja di daerah Timor Leste, hampir tidak ada publikasi tentang permigasan di daerah studi. Crostella dan Powell (1975) menerbitkan tulisan tentang prospek migas di Timor, kemudian Charlton (2002) mengeluarkan publikasi tentang potensi adanya petroleum, tetapi lebih di daerah Timor barat (Indonesia). Baru kemudian pada tahun 2014, Charlton dan Gandara mempublikasikan tentang potensi hidrokarbon di daratan Timor Leste. Publikasi terkini berupa laporan pekerjaan eksplorasi yang ditulis internal oleh IPG (2020) yang bekerja sama dengan beberapa institusi di Indonesia.

Kebanyakan publikasi yang ada tentang Timor (baik Timor Leste maupun Timor Indonesia) adalah tentang yang berhubungan dengan geologi dan ilmu turunannya, seperti stratigrafi, struktur, petrologi, dan paleontologi. Tercatat dari awal abad kedua puluh pembahas geologi seperti Wanner (1913), kemudian selanjutnya Wittouck (1937), Grunau (1956),

Gageonnet dan Lemoine (1957, 1958), Audley-Charles (1968, 2011), Kenyon (1974), Barber dkk. (1977), Grady dan Berry (1977), Chamalaun dan Grady (1978), Berry (1981), Barkham (1993), Bird dan Cook (1993), Sani dkk. (1995), Harris dkk. (2000), Kaneko dkk. (2006); Haig dkk. (2007), McCartain dan Haig (2010), Permana (2012), Benincasa dan Haig (2015).

Dari pembahasan beberapa penulis di atas, walaupun kebanyakan pembahasan mereka lebih ke arah pembahasan geologi, secara mendasar daerah daratan Timor Leste mempunyai potensi menghasilkan hidrokarbon. Oleh karena itu, makalah ini bermaksud merekonfirmasi kemungkinan batuan sedimen, dengan mengkhhususkan ke dua formasi, yaitu Formasi Babulu dan Aitutu dapat menjadi batuan induk, seperti yang sudah disebut di beberapa publikasi terdahulu.

BAHAN DAN METODE

Metode yang diterapkan di dalam penelitian ini terdiri atas pengamatan di lapangan, pengambilan sampel singkapan batuan sedimen, analisis laboratorium geokimia terhadap sampel batuan sedimen, dan interpretasi data. Pengamatan di lapangan meliputi pengamatan singkapan batuan, struktur geologi, stratigrafi, dan keadaan geologi lainnya. Pengambilan sampel batuan sedimen,

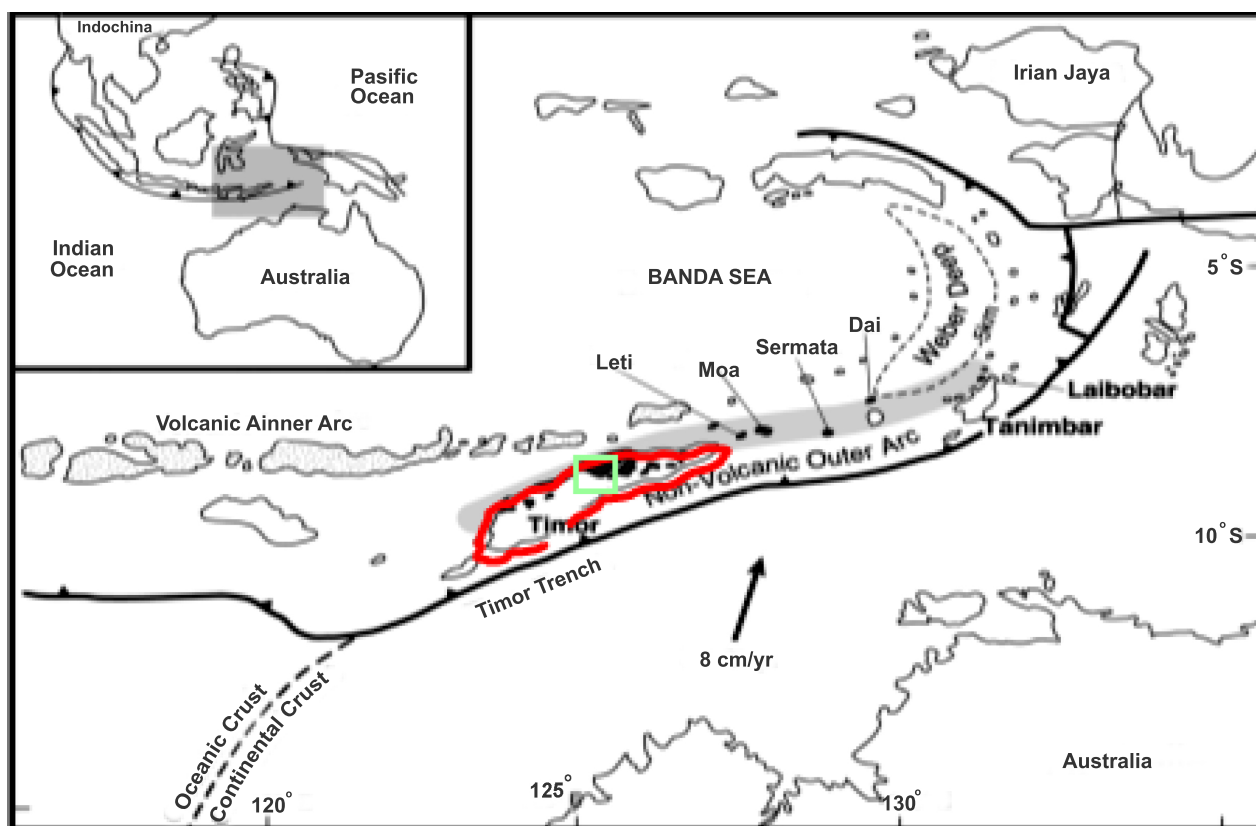
yang berupa sampel singkapan, diarahkan hanya kepada sampel Formasi Babulu dan Aitutu yang secara berurut berumur Trias Tengah-Atas dan Trias Atas. Karena penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakter batuan induk dari sampel kedua formasi tersebut, maka analisis geokimia yang dilakukan melibatkan analisis kekayaan dengan mempergunakan alat penganalisis karbon LECO, pirolisis Rock-Eval, dan analisis reflektansi vitrinit. Semua analisis dilakukan di Laboratorium LEMIGAS Jakarta. Untuk analisis kerogen dengan mempergunakan alat LECO, pirolisis Rock-Eval, dan analisis reflektansi vitrinit secara mikroskopis tekniknya sebenarnya sudah tersebar di banyak publikasi, antara lain yang ditulis oleh Carvajal-Ortiz dan Gentsis (2015), Syahputra dkk. (2021).

Sintesis dilakukan terhadap data yang diperoleh dari analisis geokimia yang dilakukan dalam penelitian ini, yang meliputi: kuantitas dan kualitas material organik, kematangan material organik, lingkungan pengendapan batuan induk, dan estimasi tentang kemungkinan sampel batuan sedimen itu dapat menjadi batuan induk dengan dugaan sudah

atau belum mampukah batuan induk mengeluarkan (*to expel*) migas?

Tatanan Geologi Daerah Timor Lestet

Secara geografis, Pulau Timor terletak di antara Benua Asia dan Australia. Bagian utara pulau ini memiliki hubungan yang erat dengan beberapa busur vulkanik di kepulauan Indonesia dan bagian selatan dibatasi oleh Laut Timor dan Benua Australia. Dari bagian timur Pulau Timor, busur nonvulkanik memanjang melalui Pulau Leti, Moa, Sermata, dan pulau lain seperti Pulau Tanimbar, namun dari bagian barat terhubung ke Laut Sawu dan Pulau Sumba. Secara tektonik, pulau ini terletak di antara dua busur tektonik, Busur Banda Dalam dan Busur Banda Luar (Grady dan Berry, 1977). Busur Banda Dalam menyatu dengan lempeng Asia Tenggara yang tersusun dari beberapa pulau vulkanik aktif seperti Pulau Flores, Sumbawa, dan Wetar; sedangkan Busur Banda Luar terdiri dari busur nonvulkanik yang berasosiasi dengan Palung Timor dan beberapa pulau seperti Pulau Tanimbar dan Laibobar (Bird dan Cook, 1991; Gambar 1).



Gambar 1
Pulau Timor ditinjau dari sudut pandang tektonik (Bird dan Cook, 1991).

Geologi regional Pulau Timor telah dikaji oleh banyak peneliti, antara lain Wanner (1913); Wittouck (1937); Grunau dkk. (1956); Audley-Charles (1968); dan Hamilton (1979). Barber (2013); Berry (1981); Harris (2000); mendefinisikan Pulau Timor sebagai salah satu busur gunung api terluar. Palung Timor mengalami deformasi akibat adanya back thrust di utara dan tumbukan di bagian tengah (Gambar 2).

Stratigrafi Pulau Timor pernah dipublikasikan antara lain oleh Charlton (2002). Charlton, dalam hal ini, mencoba membandingkan susunan stratigrafi daerah Timor dengan daerah di sekitarnya, yaitu daerah Tanimbar dan Seram (Gambar 3). Di dalam pembahasan studi ini fokus adalah kepada dua formasi berumur Trias, yaitu Formasi Babulu dan Aitutu. Di dalam studi yang mutakhir, yang dilakukan oleh IPG bekerja sama dengan University Western Australia (IPG-UWA, 2020) telah dilakukan revisi umur Formasi Babulu dari umur Trias Akhir menjadi Trias Tengah sampai Akhir dan hubungan antara Formasi Babulu dan Aitutu dianggap selaras dengan Formasi Aitutu (di publikasi ditulis Aitutu) selaras di atas Formasi Babulu (Gambar 4). Di dalam usaha memetakan secara regional struktur geologi daerah Timor Leste yang rumit, penggunaan teknologi pemetaan anomali permukaan memanfaatkan data penginderaan jauh Landsat 8 dan Denmas seperti yang ditulis oleh Lestari dkk. (2021) menjadi pertimbangan untuk dilakukan.

Selain itu, karena sedikitnya sumur pengeboran yang terdapat di daratan Timor Leste, maka studi intensif korelasi antara data sumur dan data singkapan, seperti yang telah dilakukan oleh Fakhrudin dkk. (2018) di daerah berpotensi yang berumur Mesozoikum di daerah Cekungan Akimeugah, Papua belum dapat dilakukan di daerah studi di daratan Timor Leste ini.

HASIL DAN DISKUSI

Sampel Batuan Sedimen

Sampel batuan sedimen yang diambil dari lapangan berjumlah 136 sampel. Setelah dilakukan analisis awal sebagai analisis seleksi, maka tersisa hanya delapan sampel dengan rincian enam sampel dari Formasi Babulu dan dua sampel dari Formasi Aitutu, Cekungan Maliana, Timor Leste (Tabel 1). Diharapkan di antara sampel yang dianalisis tersebut terdapat sampel yang berpotensi sebagai batuan induk.

Kekayaan

Untuk mengetahui kekayaan batuan sedimen dilakukan analisis TOC (total organic carbon) dengan menggunakan alat LECO Carbon Determinator. Hasilnya diberikan di Tabel 1. Terlihat bahwa sampel batuan sedimen, yang memang juga karena sudah lolos seleksi dengan batas bawah 0,5% TOC, mengandung material organik dengan kisaran antara 0,52 dan 12,25% berat. Secara umum kekayaan batuan sedimen tergolong di dalam kategori sedang sampai luar biasa (fair to excellence).

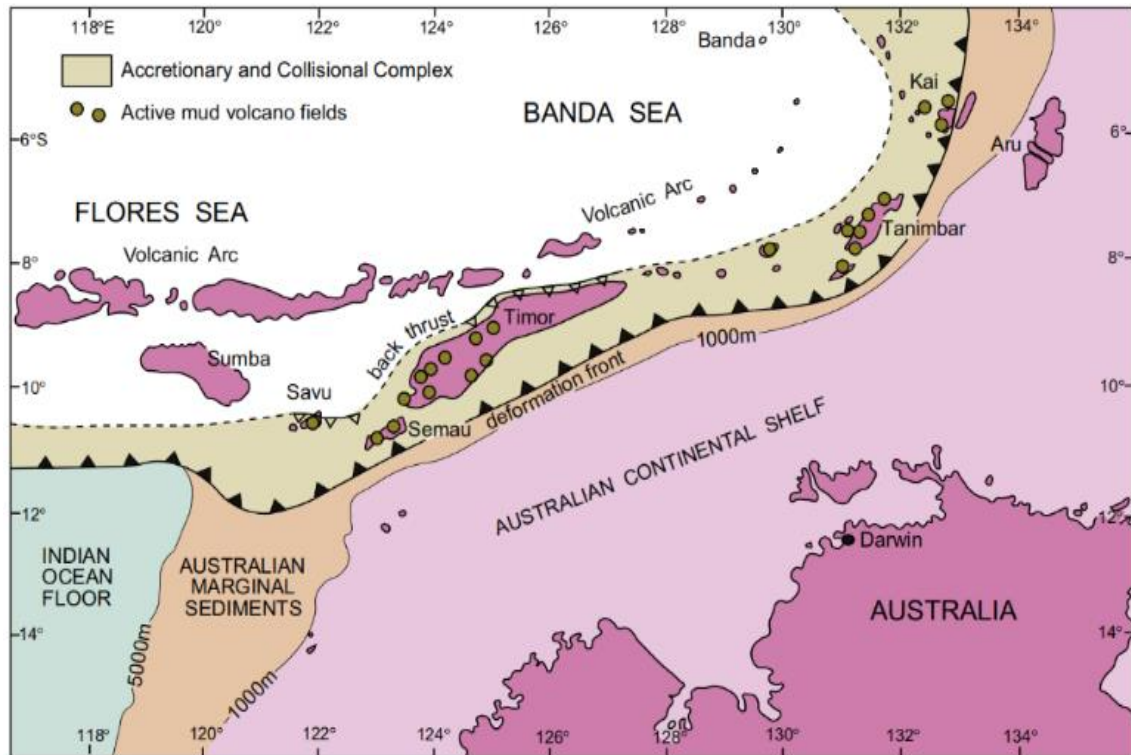
Kematangan Material Organik

Penentuan kematangan batuan sedimen dilakukan dengan menggunakan dua parameter, yaitu Tmax hasil pirolisis Rock-Eval dan, secara mikroskopis, analisis reflektansi vitrinit. Hasil analisis keduanya juga diberikan di Tabel 1. Kematangan berdasarkan analisis pirolisis Tmax nilainya berkisar dari 425 sampai 554° C, yang mempunyai arti bahwa kisaran kematangannya dari matang awal sampai ke zona gas, sedangkan menurut hasil analisis reflektansi vitrinit nilainya dari 0,68 sampai 1,47%, yang menunjukkan kematangannya, tidak berbeda dengan hasil analisis Tmax, berkisar dari matang awal hingga zona gas.

Dari sepuluh sampel yang dianalisis, ternyata hanya dua sampel (FSN-JE-52 dari Formasi Babulu dan JJ21-08/06/2202 dari Formasi Aitutu) yang menunjukkan awal matang, yang lainnya sudah mencapai tahap sangat matang. Dengan demikian, dari kecenderungan distribusinya, dapat disimpulkan bahwa sampel Formasi Babulu dan Aitutu sudah berkematangan tinggi, paling tidak dari puncak pembentukan minyak sampai ke zona gas (*from peak of oil generation to gas zone*). Relatif tingginya kematangan ini yang dipergunakan sebagai justifikasi dalam pengabaian batas bawah ambang seleksi berdasarkan parameter pirolisis S2.

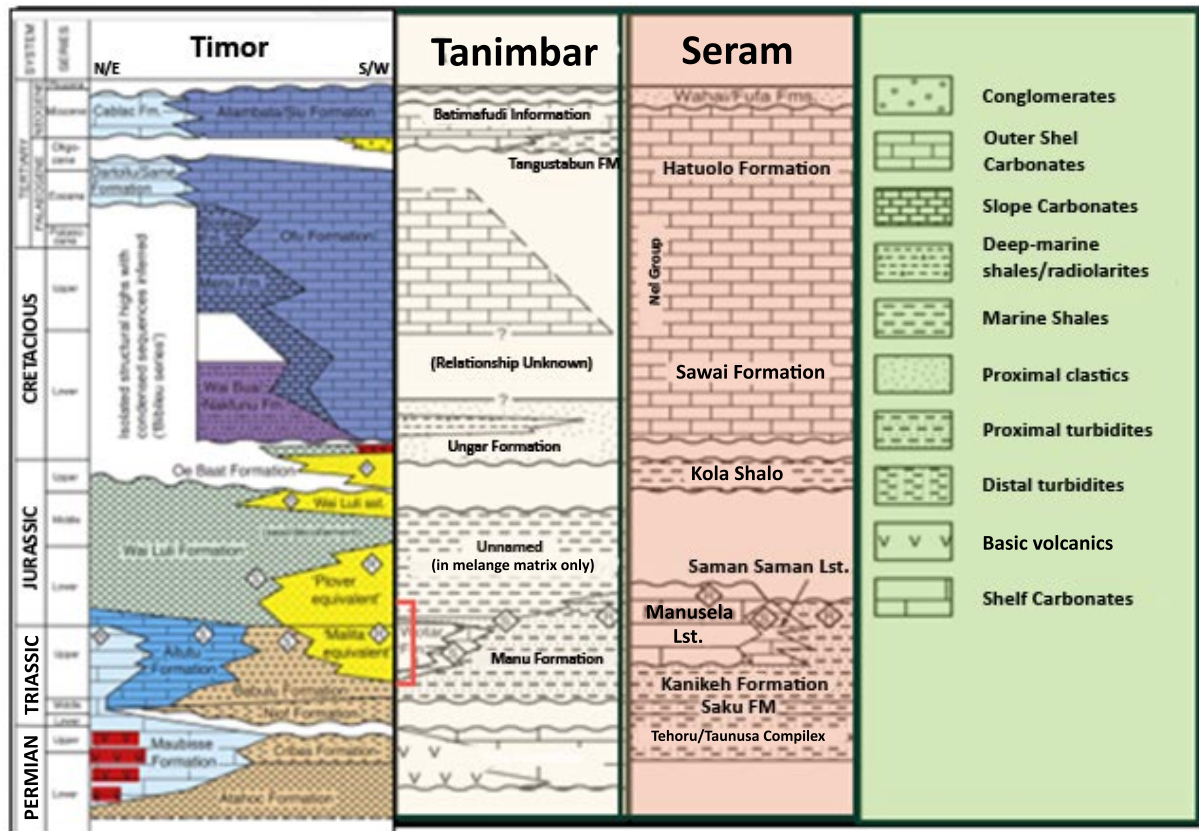
Alasannya adalah bahwa dengan bertambah tingginya kematangan maka akan berkurang nilai TOC dan S2, termasuk parameter turunannya, yaitu HI. Di dalam klasifikasi yang dipublikasikan oleh Peters dan Cassa (1994), didapatkan catatan kaki yang menyatakan bahwa berlakunya klasifikasi mereka itu khusus untuk sampel yang keadaannya belum matang. Jadi, pengabaian seleksi berdasarkan batas ambang S2 yang diberlakukan di dalam penelitian ini tidaklah bertentangan dengan klasifikasi usulan Peters dan Cassa (1994) tersebut.

Studi Geokimia Organik Batuan Sedimen Berumur Trias di Cekungan Maliana, Timor-Leste:
Tinjauan Awal Kemungkinan Sebagai Batuan Induk
(Joanico Pires, dkk)



Gambar 2

Tumbukan antara busur Australia dan busur vulkanik menunjukkan sebaran diapir aktif dan gunung lumpur di sekitar busur luar (outer arc) (Barber dkk., 1977).



Gambar 3

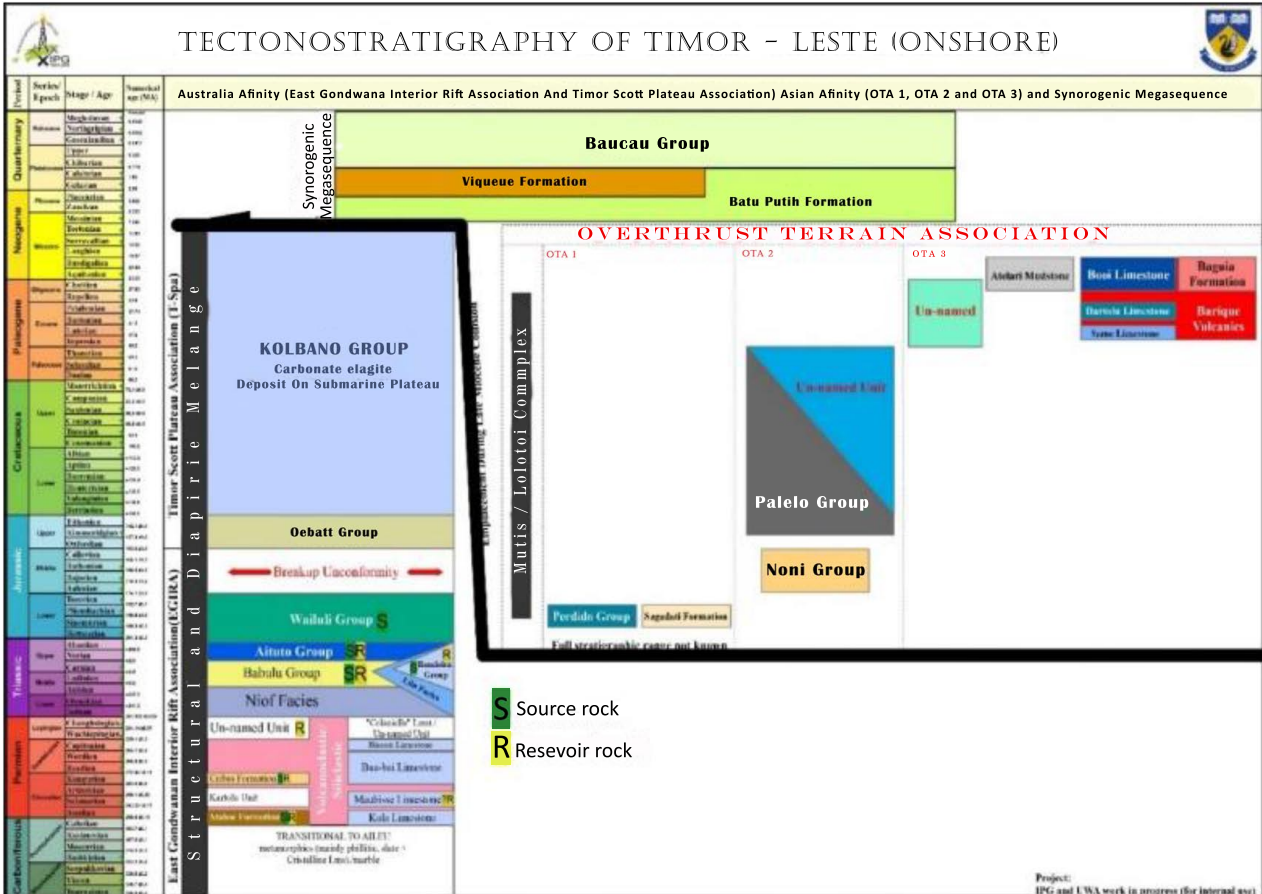
Stratigrafi daerah Timor dibandingkan dengan stratigrafi daerah sekitarnya, yaitu daerah Tanimbar dan Seram (Kaneko dkk., 2006).

Tipe Kerogen

Salah satu teknik mengetahui tipe material organik adalah dengan menghitung nilai HI. Hasil penghitungan nilai HI dapat dilihat di dalam Tabel 1. Karena kematangan sampel batuan yang relatif tinggi, maka dicoba dihitung HI₀, yaitu prediksi HI

ketika sampel belum matang alias HI awal. Di dalam studi ini perhitungan HI₀ memakai rumus yang diusulkan oleh Peters dkk. (2005), yaitu:

$$HI_0 = \frac{1}{(1 - PI_p)} * HI_p$$



Gambar 4
Tektonostratigrafi daratan Timor-Leste (IPG dan UWA, 2020).

Tabel 1
Data hasil analisis TOC dan pirolisis Rock-Eval untuk sampel batuan terseleksi di Cekungan Maliana.

No	No Sampel	Formasi	TOC%	S1	S2	S3	PY	S2/S3	Tmax (°c)	PI	PC	HI	OI	Ro (%)
				Mg HC/g batuan										
1	IPG/EPG/31/08/2022-06-SR	Babulu	0,57	0,04	0,2	0,24	0,24	0,83	444	0,17	0,02	35	42	1,03
2	FSN-JE-52	Babulu	5,54	0,16	19,6	1,57	19,76	12,48	428	0,01	1,64	354	28	0,68
3	IPG/EPG/10/07/2022-09-SR	Babulu	0,52	0,14	0,61	0,32	0,75	1,91	448	0,01	1,64	117	61	Bm
4	IPG/EPG/02/05/2022-03-SR	Babulu	0,87	0,06	0,14	0,36	0,20	0,39	450	0,30	0,02	16	41	1,24
5	IPG/EPG/10/07/2022-04-SR	Babulu	0,70	0,4	0,08	0,29	0,12	0,28	553	0,33	0,01	11	41	1,24
6	IPG/EPG/07/05/2022-06-SR	Babulu	0,70	0,4	0,22	0,34	0,26	0,65	447	0,15	0,02	31	48	0,95
7	JJ21-08/06/2022	Aitutu	12,25	1,99	77,61	0,62	79,60	125,18	425	0,03	6,61	634	5	0,68
8	IPG/EPG/04/05/2022-06A-SR	Aitutu	0,54	0,02	0,08	0,27	0,10	0,30	554	0,20	0,01	15	50	1,47

Dengan:

H₁₀ = Indeks hidrogen awal, sewaktu sampel belum matang

H_{1p} = Indeks hidrogen saat ini (*present*)

P_{1p} = Indeks produksi saat ini

Memang, dari perhitungan H₁₀ ini hasilnya tidak banyak berbeda dengan HI yang diamati saat ini, akan tetapi tampak jelas bahwa nilainya naik. Jadi, di dalam perhitungan atau interpretasi selanjutnya yang dipergunakan adalah besaran nilai H₁₀. Tabel 2 memperlihatkan nilai HI dan H₁₀. Hanya H₁₀ yang dipergunakan untuk menginterpretasi tipe kerogen.

Potensi Batuan Sedimen sebagai Batuan Induk

Dari data yang tertera di dalam Tabel 1 dan 2, maka dapat diinterpretasikan bahwa kedua formasi, yaitu Formasi Babulu dan Aitutu mempunyai potensi sebagai batuan induk. Formasi Babulu diwakili oleh tiga sampel bernomor IPG/EPG/31/08/2022-06A-SR, FSN-JE-52, dan IPG/EPG/10/07/2022-09-SR, sedangkan Formasi Aitutu diwakili satu sampel bernomor JJ21-08/06/2202.

Untuk mengetahui besar potensi setiap sampel sebagai batuan induk, maka dipergunakan hitungan dasar yang diusulkan oleh Waples (1985) untuk mengetahui apakah batuan induk tersebut mampu mengekspulsikan hidrokarbon. Rumus yang diperkenalkan oleh Waples (1985) adalah:

$$\text{Volume hidrokarbon} = (k)(\text{TOC})(\text{HI})(f)$$

Dengan:

TOC: karbon organik total

HI: Indeks hidrogen

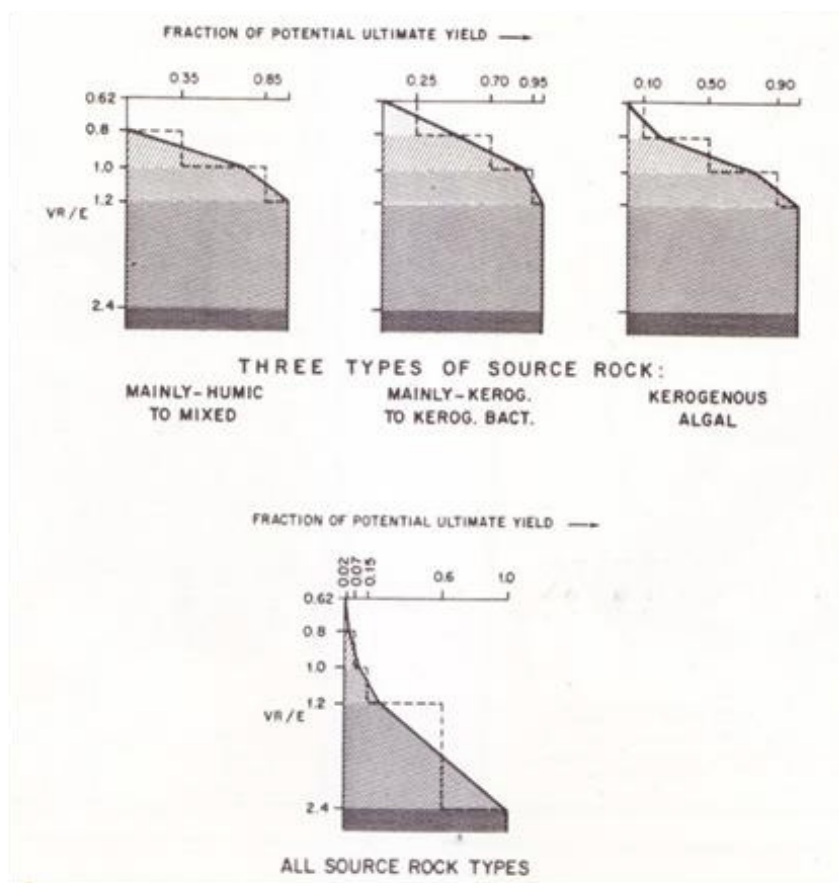
k: tergantung satuan yang diinginkan untuk volume hidrokarbon atas asumsi tentang densitas batuan

induk dan hidrokarbon. Jika satuan volume yang diinginkan adalah “juta barel per mil kubik batuan induk,” dan batuan induknya adalah serpih dengan densitas 2,3 g/cc, dan hidrokarbon yang terbentuk diharapkan minyak dengan 25^o API (densitas = 0,9 g/cc), maka nilai k sekitar 0,7. Jika batuan induknya batugamping (densitas = 2,6 g/cc), nilai k sekitar 0,78. f: pengukuran atau perhitungan nilai kematangan, baik dengan Ro, TAI, atau TTI satuannya harus diubah menjadi tidak bersatuan atau diubah ke skala agar fraksi f dapat diterapkan.

Untuk menghitung nilai “f” diperlukan kurva yang telah diciptakan oleh Sluijk dan Nederlof (1984 di dalam Waples 1985). Kurva tersebut dapat dilihat di dalam Gambar 5. Tabel 3 memperlihatkan hasil hitungan nilai k dan f untuk sampel yang tipe I, II, dan III. Nilai nol diberikan untuk sampel yang bertipe IV, karena secara teoretis sampel yang mengandung kerogen tipe IV tidak akan menghasilkan hidrokarbon. Lajur paling kanan menunjukkan hasil penjumlahan minyak dan gas yang terbentuk. Untuk perhitungan proporsi pembagian TOC dalam hal pembentukan minyak dan gas bumi diacu dari Waples (1985). Usulannya, batuan yang mengandung kerogen tipe I, proporsi minyak sebesar 95% dan gas 5%; tipe II proporsi minyak 90% dan gas 10%, dan tipe III proporsi minyak 20% dan gas 80%. Dari perhitungan ini dapat dilihat bahwa sampel FSN-JE2 dari Formasi Babulu dan sampel JJ21-08/06/2202 dari Formasi Aitutu telah dapat mengeluarkan atau mengekspulsikan minyak bumi dan gas secara mandiri, karena jumlah volume yang dihasilkan telah melebihi jumlah 50 juta barel per mil kubik. Angka batas ambang 50 juta per mil kubik ini adalah angka yang diusulkan oleh Momper (Momper, 1978 dalam Waples, 1985).

Tabel 2
Data hasil perhitungan H₁₀ yang dipergunakan untuk menentukan tipe material organik sampel batuan di Cekungan Maliana.

No	No Sampel	Formasi	TOC%	T _{max} (°C)	Ro (%)	HI	H ₁₀	Tipe
1	IPG/EPG/31/08/2022-06-SR	Babulu	0,57	444	1,03	35	42	III
2	FSN-JE-52	Babulu	5,54	428	0,68	354	358	II
3	IPG/EPG/10/07/2022-09-SR	Babulu	0,52	448	Brn	117	144	III
4	IPG/EPG/02/05/2022-03-SR	Babulu	0,87	450	1,24	16	23	IV
5	IPG/EPG/10/07/2022-04-SR	Babulu	0,70	553	1,24	11	16	IV
6	IPG/EPG/07/05/2022-06-SR	Babulu	0,70	447	0,95	31	36	IV
7	JJ21-08/06/2022	Aitutu	12,25	425	0,68	634	654	I
8	IPG/EPG/04/05/2022-06A-SR	Aitutu	0,54	554	1,47	15	19	IV



Gambar 5

Kurva yang menunjukkan hubungan antara nilai Ro dan konversi fraksional (f) untuk kerogen tipe III (humat sampai campuran), tipe II (kerogen dominan sampai kerogen bakterial), dan tipe I (kerogen alga) untuk pembentukan minyak (bagian atas dari kiri ke kanan) dan untuk pembentukan gas (bawah) (dari Sluijk dan Nederlof, 1984 dalam Waples, 1985).

Tabel 3

Hasil hitungan nilai k dan f untuk sampel yang tipe I, II, dan III. Untuk sampel yang bertipe IV nilainya diberi angka nol, karena tidak akan menghasilkan hidrokarbon. Keterangan TOCm: proporsi TOC untuk pembentukan minyak; TOCg: proporsi TOC untuk pembentukan gas; konstanta k dan f sudah dijelaskan dalam keterangan rumus; fm: nilai f untuk minyak; fg: nilai f untuk gas; (*) jumlah migas yang dapat terbentuk dalam satuan juta barel per mil kubik. Penentuan proporsi TOC untuk pembentukan minyak dan gas diberikan di dalam teks.

No	No Sampel	Formasi	TOC	HI	Tipe	TOC%	TOCm (%)	TOCg	Ro(%)	K	fm	fg	Volume (Minyak)*	Volume (Gas)*	Volume (total)*
1	IPG/EPG/31/08/2022-06-SR	Babulu	0,57	42	III	0,57	0,11	0,46	1,03	0,7	0,85	0,08	2,86	1,08	3,94
2	FNSN-JE-52	Babulu	5,54	358	II	5,54	4,99	0,55	0,68	0,7	0,4	0,03	499,20	4,16	503,36
3	IPG/EPG/10/07/2022-09-SR	Babulu	0,52	144	III	0,52	0,10	0,42	1,2	0,7	1	0,25	10,52	10,52	21,03
4	IPG/EPG/02/05/2022-03-SR	Babulu	0,87	23	IV	0,87	0,00	0,00	1,24	0	0	0	0,00	0,00	0,00
5	IPG/EPG/10/07/2022-04-SR	Babulu	0,70	16	IV	0,70	0,00	0,00	1,24	0	0	0	0,00	0,00	0,00
6	IPG/EPG/07/05/2022-06-SR	Babulu	0,70	36	IV	0,70	0,00	0,00	0,95	0	0	0	0,00	0,00	0,00
7	JJ21-08/06/2022	Aitutu	12,25	654	I	12,25	11,64	0,61	0,68	0,7	0,1	0,03	532,45	8,41	540,85
8	IPG/EPG/04/05/2022-06A-SR	Aitutu	0,54	19	IV	0,54	0,00	0,00	1,47	0	0	0	0,00	0,00	0,00

Dengan diketahuinya bahwa terdapat sampel dari Formasi Babulu dan Formasi Aitutu yang telah mampu mengeluarkan minyak dan gas bumi, maka di dalam penelitian berikutnya akan dilakukan analisis lengkap terhadap sampel batuan dari kedua Formasi Babulu dan Aitutu, kemudian akan dicoba dikorelasikan dengan sampel minyak bumi yang berhasil dihimpun dari dua daerah, yaitu Pualaka dan Suai Loro.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kedua formasi yang diteliti, yaitu Formasi Babulu dan Aitutu terbukti telah mampu menjadi batuan induk berdasarkan tiga syarat; kekayaan, tipe material organik, dan kematangan.

Kedua formasi tersebut tergolong sebagai batuan induk efektif, artinya telah mampu mengeluarkan minyak dan gas bumi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada pimpinan Instituto de Geociências de Timor-Leste - Instituto Público (IGTL/IP) dan ITB atas diizinkan kami menggunakan data untuk makalah ini. Terima kasih juga atas dana yang diberikan oleh IGTL/IP untuk analisis geokimia dan biaya studi penulis (JP) di ITB.

Penulis juga mengucapkan terima kasih dan apresiasi kepada para penelaah anonim yang telah memberikan arahan agar manuskrip ini menjadi lebih baik dan sesuai dengan bahasa selingkung jurnal ini.

DAFTAR ISTILAH/SINGKATAN

Simbol	Definisi	Satuan
HI	Hydrogen Index	
IPG	Institute of Petroleum and Geology	
PC	Pyrolyzable Carbon – Karbon yang dapat dipirolysis	
PI	Production Index – Index Produksi	
PY	Pyrolysis Yield – Hasil Pirolysis	
Ro	Pantulan Vitrinit	
S1	Bitumen yang sudah terbentuk di batuan	
S2	Kerogen yang dikandung di batuan	
S3	Co2 Hasil Pirolysis	
TAI	Thermal Alteration Index	
TOC	Total Organic Carbon	
Tmax	Temperatur pada saat S2 maksimum	

TTI	Time temperature index-Index waktu Temperature
UWA	University of Western Australia

KEPUSTAKAAN

- Audley-Charles, M.G., 1968, The geology of Portugese Timor, *Memoirs of the Geological Society of London*, University of London.
- Audley-Charles, M.G., 2011 Tectonic post-collision processes in Timor, *Geological Society of London, Special Publications*, 355(1), 241 – 266.
- Barber, A.J., Audley-Charles, M.G., dan Carter, D.J., 1977, Thrust tectonics in Timor, *Australian Journal of Earth Sciences*, 24, 51 – 62.
- Barkham, K., 1993, *The geology of the Laktutus area*, Disertasi Program Doktor, West Yorkshire, United Kingdom, 233 – 237.
- Benincasa, A.M.K. dan Haig, D.W., 2015, *The 'fatus' of East Timor: stratigraphy and structure*, School of Earth and Environment Geology, 504 hal.
- Berry, R.F., 1981, Petrology of the Hili Manu Lherzolite East Timor, *Journal of the Geological Society of Australia*, 28, 453 – 469.
- Bird, P. dan Cook, S., 1991, Permo-Triassic successions of the Kekneno area, West Timor: implications for palaeogeography and basin evolution, *Journal of Southeast Asian Earth Sciences*, 6, 359 – 371.
- Carvajal-Ortiz, H. dan Gentzis, T., 2015, Critical considerations when assessing hydrocarbon plays using Rock-Eval pyrolysis and organic petrology data: Data quality revisited. *International Journal of Coal Geology*, 152, 113–122.
- Chamalaun F.H., 1976, Paleomagnetic evidence for the relative positions of Timor and Australia in the Permian, *Earth and Planetary Science Letters*, Amsterdam, Netherlands, 34, 107-112.
- Chamalaun F.H. dan Grady, A.E., 1978, The tectonic development of Timor: a new model and its implications for petroleum exploration, *Journal of Asia Pacific Enterprise Awards*.
- Charlton, T.R., 2002, The petroleum potential of

- West Timor, *Proceedings of the Indonesian Petroleum Association*, vol 1, 28, 301 – 317.
- Charlton, T.R. dan Gandara, D., 2014, The petroleum potential of onshore Timor-Leste. *Proceedings of the Indonesian Petroleum Association*, vol 1, 38, IPA14-G-017
- Crostella, A. dan Powell, D., 1975, Geology and hydrocarbon prospects of the Timor area, *Proceedings of the Indonesian Petroleum Association*, vol 1, 4, 149 – 163.
- Fakhrudin, R., Ramli, T., dan Saleh, H.M., 2018, Well and outcrop correlation in the eastern part of Akimeugah Basin, Papua: Mesozoic play potential. *Scientific Contributions Oil and Gas*, 41/2, 75 – 87.
- Gageonnet, R. dan Lemoine, M., 1957, Sur la stratigraphie de l'autochtone au Timor Portugais, *Comptes rendus hebdomadaires des seances de l'academie des sciences*, 244, 2168 – 2171.
- Gageonnet, R. dan Lemoine, M., 1958, *Contribution a la connaissance de la geologie de la province portugaise de Timor*, Lisboa, Portugal.
- Grady, A.E. dan Berry, R.F., 1977, Some Paleozoic-Mesozoic stratigraphic-structural relationships in East Timor and their significance in the tectonics of Timor, *Journal of the Geological Society of Australia*, 24(4), 203 – 214.
- Grunau, H.R., 1956, *Zur Geologie von Portugiesisch-ost-Timor*, Horsaal des Geologischen Instituts.
- Haig, D.W., Eujay, M.C., Logan, B., dan John, B., 2007, Triassic-Lower Jurassic foraminiferal indices for Bahaman-type carbonate-bank limestones, Cablac Mountain East Timor, *Journal of Foraminiferal Research*, 37, 248 – 264.
- Harris, R., 2000, The Timor ophiolite, Indonesia: Model or myth, *Geological Society of America Special Paper*, 349, 321 – 330.
- IPG-UWA, 2020, *Evaluation of the petroleum system of Maliana Basin, Timor Leste*. Laporan Instituto Petroleum e Geologia, 70 hal. Tidak dipublikasikan.
- Kaneko, Y., Shigenori, M., Ade, K., Tsutomu, O., Masahiro, I., Tatsuki, T., Akira, I., dan Kazuaki, O., 2006, On-going orogeny in the outer-arc of the Timor-Tanimbar region, eastern Indonesia, *International Association for Gondwana Research*, Elsevier.
- Kenyon, C.S., 1974, *Stratigraphy and sedimentology of the Late Miocene to Quarternary deposits of Timor*, Disertasi Program Doktor, University of London, 54 – 59.
- Lestari, P, Harmoko, U., Nurwidyanto, M.I., dan Susantoro, T.M., 2021, Kajian potensi hidrokarbon di Cekungan Sedimen Akimeugah berdasarkan pemetaan anomali permukaan memanfaatkan data penginderaan jauh Landsat 8 dan DEMNAS, *Lembaran Publikasi Minyak dan Gas Bumi*, 55/3. 153-169.
- McCartain, E., Backhouse, J., Haig, D., Balme, B., dan Keep, M., 2006, Gondwana-related late Permian palynoflora, foraminifers and lithofacies from the Wailuli Valley, Timor Leste, *Palaeont*, Abhudabi, 240, 53 – 80.
- McCartain, E. dan Haig, D., 2010, Triassic organic-cemented siliceous agglutinated foraminifera from Timor-Leste: conservative development in shallow-marine environments, *Journal of Foraminiferal Research*, 40, 366 – 392.
- Permana, A.K., 2012. *Stratigrafi Cekungan Timor*, Laporan Akhir Penelitian, Pusat Survei Geologi-Bandung, 123 hal. Tidak dipublikasikan.
- Sani, K., Jacobson, M.I., dan Sigit, R., 1995, The thin-skinned thrust structure of Timor, *Proceedings Indonesian Petroleum Association, 24th Annual Convention*, 233.
- Syahputra, G.A., Utomo W., dan Rahman, A., 2019, Potensi batuan induk Formasi Salodik Pulau Peleng bagian barat, Cekungan Banggai, *Lembaran Publikasi Minyak dan Gas Bumi*, 53/2. 97-109.
- Wanner, V.G., 1913, *Geologie von Westtimor*, Sitzung der Geol. Vercinigung zu Frankfurt.
- Waples, D.W., 1985, *Geochemistry in Petroleum Exploration*, International Human Resources Development Corporation, Boston, 217 hal.
- Wittouck, S.F., 1937, *Exploration of Portuguese Timor*, Report of Allied Mining Corporation, Asia Investment Company, Limited. Tidak diterbitkan.