

MIKROFASIES DAN DIAGENESIS BATUGAMPING BERDASARKAN DATA PETROGRAFI
PADA FORMASI NAKFUNU DI DAERAH TIMOR TENGAH SELATAN
*LIMESTONES MICROFACIES AND DIAGENESIS BASED ON PETROGRAPHY DATA
OF THE NAKFUNU FORMATION IN SOUTH CENTRAL TIMOR AREA*

Oleh :

S. Maryanto dan A.K. Permana

Pusat Survei Geologi
Jalan Diponegoro No. 57 Bandung

Abstrak

Mikrofasies dan diagenesis batugamping Formasi Nakfunu telah dipelajari guna mengetahui mekanisme pengendapan batuan dan sejarah proses geologi paska pengendapan batuan. Sampel-sampel batugamping telah diambil secara acak di lapangan pada formasi batuan yang berumur Kapur tersebut, dan dipakai untuk bahan pengujian petrografi di laboratorium. Analisis petrografi telah dilakukan terhadap empat puluh dua sampel batugamping, memperlihatkan bahwa jenisnya adalah packstone, wackestone dan mudstone. Lingkungan pengendapan batugamping Formasi Nakfunu meliputi fasies tepian cekungan, landaian laut terbuka yang berdekatan dengan lereng bawah, dan cekungan laut dalam dengan pengendapan lambat. Beragam proses diagenesis paska pengendapan batuan, yang teramati di bawah mikroskop polarisasi meliputi: penyemenan, penggantian, silisifikasi, rekristalisasi, pendolomitan, pemampatan, peretakan, dan pelarutan.

Kata kunci: Kapur, batugamping, petrografi, mikrofasies, diagenesis.

Abstract

Microfacies and diagenesis of limestones from the Nakfunu Formation have been studied to tracing the depositional mechanism and post depositional geological histories of the rocks. Limestone samples randomly taken from the field on the Cretaceous rock formation, for petrographic analysis. Petrographic analysis of the forty two limestone samples showing that the type of the limestones are packstone, wackestone, and mudstone. The depositional environments of this formation are include basin margin, open sea shelf near the lower slope, and deep sea basin with slow sedimentation. The limestones have affected by various kinds of diagenetic processes post-sedimentation. The diagenetic processes recorded under the polarization microscope as: cementation, replacement, silicification, recrystallization, dolomitization, compaction, fracturing, and dissolution.

Keywords: Cretaceous, limestone, petrography, microfacies, diagenesis.

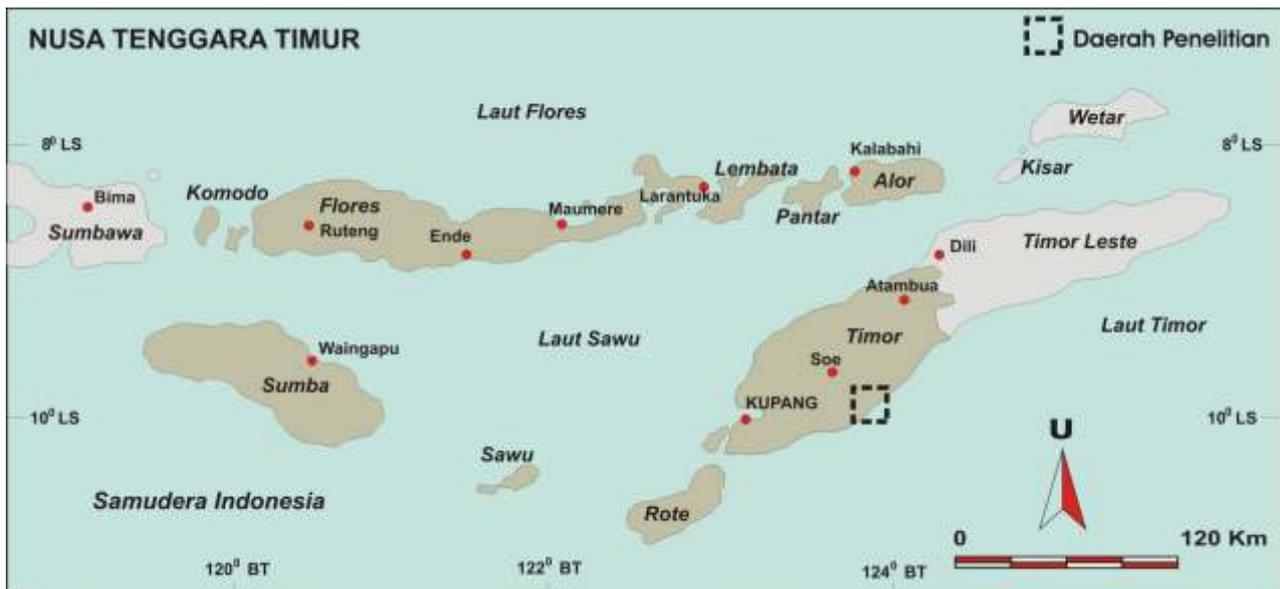
Pendahuluan

Penelitian batugamping secara petrografi pada umumnya mencantumkan kenampakan visual batugamping secara megaskopis dan mikroskopis (Maryanto, 2012), yang dilengkapi dengan keterangan jenis dan jumlah komponen serta interpretasi lingkungan pengendapan dan proses diagenesis yang telah berlangsung (Bathurst, 1975; Scholle, 1978; Longman, 1980; Flugel, 1982; MacKenzie dr., 1984; Read, 1985; Tucker & Wright, 1990; James, 1991; Adams & MacKenzie, 1998; Ulmer-Scholle & Mosley, 2000; Railsback, 2002; dan Gregg, 2005). Namun demikian, penelitian tentang mikrofasies dan rekaman proses diagenesis batugamping di Indonesia masih

sangat terbatas dilakukan. Dengan demikian, aspek petrografi batugamping, secara khusus aspek mikrofasies dan rekaman proses diagenesis pada batugamping Formasi Nakfunu, merupakan topik penelitian yang cukup menarik.

Penelitian mikrofasies dan diagenesis batugamping ini bertujuan untuk mengetahui lingkungan dan mekanisme pengendapan, serta proses geologi yang terjadi paska pengendapan batugamping penyusun Formasi Nakfunu. Objek penelitian ini adalah batugamping penyusun Formasi Nakfunu yang tersingkap di daerah Timor Tengah Selatan, Propinsi Nusa Tenggara Timur. Lokasi penelitian yang berada sekitar 100 km sebelah timur Kota Kupang (Gambar 1), dipilih karena di daerah ini tersingkap cukup baik batugamping Formasi Nakfunu (Permana, 2012).

Naskah diterima : 22 Maret 2013
Revisi terakhir : 01 Agustus 2013



Gambar 1. Lokasi daerah penelitian yang berada di Timor Tengah Selatan.

Metode yang digunakan dalam penelitian ini meliputi pengumpulan data geologi di lokasi terpilih, dilanjutkan pengujian petrografi batugamping yang dilengkapi dengan analisis mikrofases dan rekaman proses diagenesis serta interpretasi hasil pengujian. Kegiatan lapangan dilakukan dengan pengumpulan data geologi, khususnya data petrologi batugamping Formasi Nakfunu yang tersingkap di bagian selatan-tenggara wilayah Kabupaten Timor Tengah Selatan. Sampel batuan dipilih secara acak dengan keadaan sampel batumannya cukup segar dan mewakili satuan batuan terpilih. Pekerjaan laboratorium merupakan kunci utama kegiatan ini adalah analisis petrografi. Analisis dan interpretasi hasil pengujian petrografi diawali dengan penentuan jumlah dan jenis komponen batuan guna pengelompokan batuan, dan kemudian diikuti dengan identifikasi mikrofases batuan dan kenampakan rekaman proses diagenesis pada batugamping.

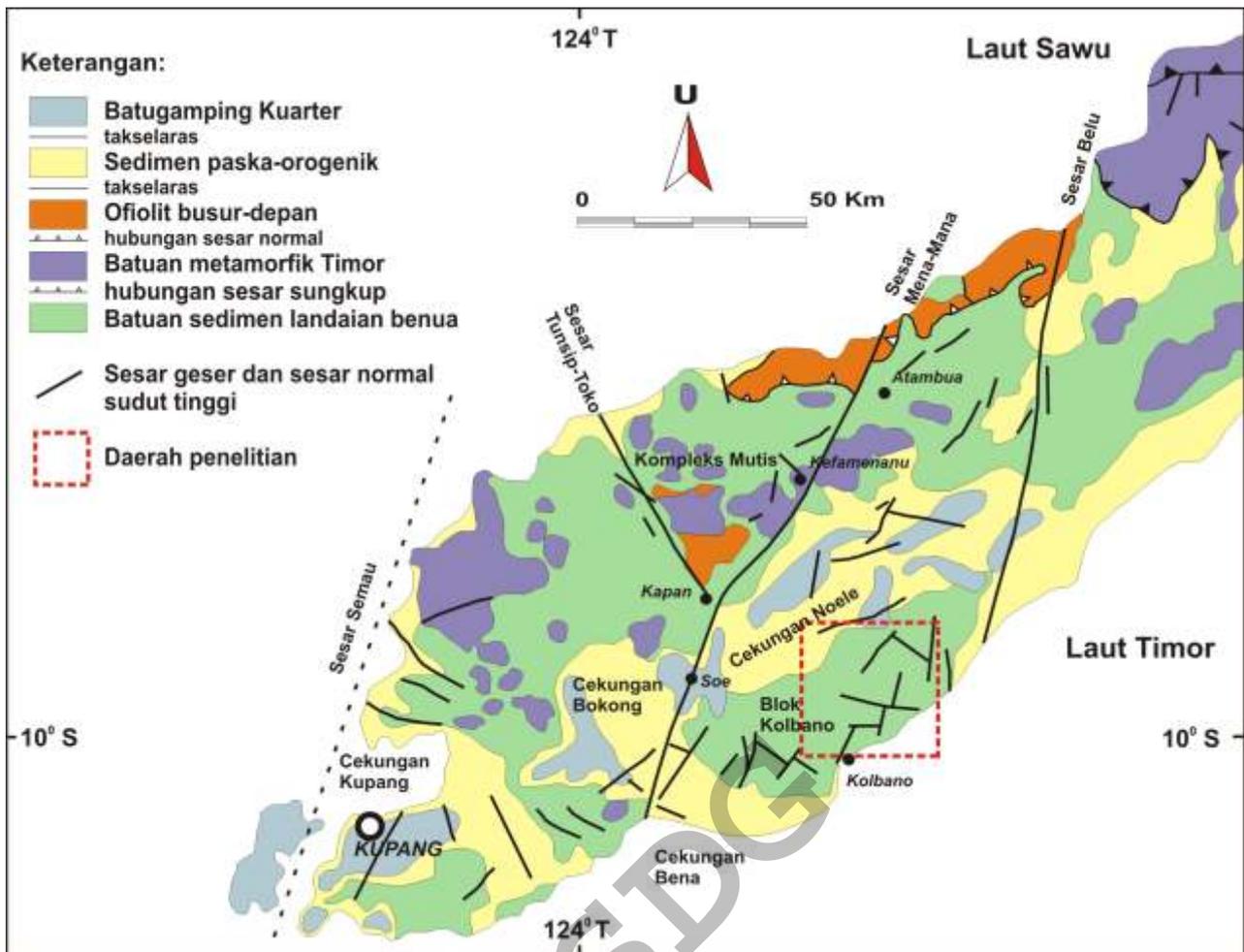
Geologi

Proses tektonik yang telah terjadi di Pulau Timor sangat kompleks dan sangat berpengaruh terhadap runtunan stratigrafi batuan penyusunnya. Telah cukup banyak peneliti terdahulu yang membahas mengenai model evolusi tektonik Pulau Timor secara regional (Chamalaun & Grady, 1978; Hamilton, 1979; Richardson & Blundell, 1996; Charlton, 2002, 2012; Audley-Charles, 2004; Kaneko dr., 2007; Harris dr., 2009; Roberts dr., 2011). Pulau Timor merupakan bagian dari Busur Banda, yang merupakan hasil tumbukan (*collision*) antara tepi

baratlaut Benua Australia dengan Kerak Samudra Banda. Pulau Timor merupakan bagian dari Paparan Sahul yang mengalami imbrikasi dan zona akresi pada proses tumbukan Neogen. Dengan proses tektonik tersebut, terbentuk fisiografi Pulau Timor seperti sekarang ini (Sani dr., 1995), yaitu Tinggian Utara, Cekungan Tengah, dan Tinggian Selatan, yang mana daerah penelitian termasuk ke dalam cakupan fisiografi Tinggian Selatan.

Daerah Timor bagian barat tercakup di dalam lembar peta geologi berskala 1:250.000 yang diterbitkan oleh Puslitbang Geologi, pada lembar Kupang-Atambua (Rosidi dr., 1979). Secara umum batuan tertua banyak tersingkap di bagian utara, batuan yang lebih muda tersingkap di selatan, dan yang paling muda tersingkap di bagian tengah pulau. Batuan-batuan tersebut kemudian secara tektonostratigrafi disusun ke dalam lima runtunan utama (Kaneko dr., 2007), yaitu: batuan sedimen landaian benua, batuan malihan Timor, ofiolit busur depan, batuan sedimen paska orogenik, dan batugamping Kuartar (Gambar 2). Penyusunan runtunan stratigrafi yang lain dilakukan oleh Charlton, (2002; 2012) dengan kajian khusus tentang fungsi formasi sebagai batuan sumber dan waduk hidrokarbon (Gambar 3). Secara umum litostratigrafi di Timor dapat dibagi menjadi tiga sekuen, yaitu Sekuen Kekneno, Sekuen Kolbano tempat dimana Formasi Nakfunu banyak tersingkap, dan Sekuen Viqueque (Sawyer dr., 1993).

Menurut Sawyer dr. (1993), litostratigrafi regional Timor khususnya Sekuen Kolbano secara umum disusun oleh Formasi Oebaat yang berumur Jura



Gambar 2. Peta geologi daerah Timor barat yang memperlihatkan tektonostratigrafinya (Kaneko dr., 2007).

Akhir, Formasi Nakfunu yang berumur Kapur, Formasi Menu yang berumur Kapur, dan Formasi Ofu yang berumur Paleosen Awal sampai Miosen Akhir. Formasi Oebaat dibagi menjadi dua anggota, yaitu: anggota batupasir masif dengan lingkungan pengendapan laut, dan anggota batupasir glaukonit berlapis dengan lingkungan pengendapan paparan dangkal. Formasi Nakfunu terdiri atas batugamping radiolaria, batulempung, kalsilitut, batulanau, perlapisan batulempung, dan kalkarenit, dengan tebal lapisan 3-30 cm, fosil radiolaria sangat melimpah, dan dengan lingkungan pengendapan laut dalam. Formasi Menu tersusun oleh batugamping dengan lapisan tipis atau nodul rijang merah dan menunjukkan belahan intensif, dan diendapkan di lingkungan laut dalam. Formasi Ofu mempunyai litologi yang mirip dengan Formasi Menu, mengindikasikan adanya kontak stratigrafi. Litologi penyusun Formasi Ofu adalah batugamping masif dengan rekahan konkoidal hingga sub-konkoidal, umumnya banyak dijumpai laminasi tipis,

urat kalsit, stilolit, kekar dan rekahan, serta diendapkan pada lingkungan turbidit laut dalam.

Data di lapangan menunjukkan bahwa batugamping Formasi Nakfunu tersingkap cukup banyak di wilayah Timor Tengah Selatan, merupakan salah satu dari batuan sedimen landaian benua, dan telah diambil sampelnya secara acak (Gambar 2). Pengambilan sampel batugamping ini dilakukan bersama-sama dengan pengambilan sampel batuan yang lain dalam rangka studi eksplorasi hidrokarbon di Cekungan Timor (Permana, 2012). Sejumlah 42 (empat puluh dua) sampel batugamping dari Formasi Nakfunu yang telah diambil untuk diuji petrografi di laboratorium.

Petrografi

Analisis petrografi batugamping yang menggunakan klasifikasi menurut Dunham (1962) dilakukan terhadap empat puluh dua sampel batugamping Formasi Nakfunu (Tabel 1).

Tabel 1. Ringkasan hasil uji petrografi batugamping Formasi Nakfumu di daerah Timor Tengah Selatan

No.	Kode Sampel	Nama Batuan	Butiran Karbonat						Matriks			Semen		Neomorfisme				Keperian	Smif Fz
			Bi	In	Oo	Pe	Te	Cm	Cl	Or	Ox	Ac	Mi	Ps	Do	Qt			
1.	12AP003A	M	3.0	0	0	0.5	0	92.0	0	0	0	4.0	0	0	0	0	0.5	1/1	
2.	12AP003B	ML	2.0	0	0	0	2.0	75.0	15.0	0	5.0	0	0	0	0	0	0.5	1/1	
3.	12AP010B	WL	12.0	0	0	0.5	1.0	66.0	18.0	1.5	0.5	0	0	0	0	0	0.5	1/1	
4.	12AP010C	PB	45.0	0	0	4.0	0.5	16.0	14.0	4.0	1.5	0	0	0	0	0	1.0	2/2	
5.	12AP017B	WB	24.0	0	0	0	1.0	28.0	5.0	5.0	1.5	0	0	0	0	0	1.5	1/1	
6.	12AP020F	WB	32.0	0	0	0	0	53.0	0	1.0	0.5	0.5	0	0	0	0	1.0	3/1	
7.	12AP023F	WB	27.0	2.0	0	1.0	2.0	49.0	5.0	4.0	2.0	0	0	0	0	0	1.0	3/1	
8.	12AP023G	WB	12.0	0	0	0	4.0	60.0	6.0	0	2.0	0	0	0	0	0	1.0	3/1	
9.	12AP030B	PB	46.0	2.0	6.0	4.0	4.0	22.0	0	5.0	2.0	0	0	0	0	0	2.0	2/2	
10.	12AP035C	WB	25.0	2.0	2.0	0.5	1.5	46.0	12.0	2.0	2.0	0	0	0	0	0	1.0	3/1	
11.	12AP036A	PB	57.0	2.0	0	0	0.5	22.0	5.0	2.0	0.5	0	0	0	0	0	0	2/2	
12.	12AP036E	WB	26.0	0.5	0	0	0	61.0	0	0	0.5	0	0	0	0	0	0	3/1	
13.	12AP036K	WB	22.0	0	0	0	3.0	41.0	12.0	2.0	0.5	0	0	0	0	0	0	3/3	
14.	12AP037A	M	7.0	0	0	0	0.5	79.0	0	4.0	0.5	0	0	0	0	0	0.5	3/3	
15.	12AP038A	PB	42.0	0	0	12.0	3.5	22.0	8.0	3.0	1.5	0	0	0	0	0	0	2/2	
16.	12AP038B	WB	14.0	0	0	0	2.0	79.0	0	0	0.5	0	0	0	0	0	0.5	3/1	
17.	12AP038C	WB	32.0	0	0	1.0	1.0	43.0	3.0	2.0	1.0	0	0	0	0	0	0	3/1	
18.	12AP038D	WB	26.0	0	0	0	1.0	41.0	5.0	4.0	0.5	0	0	0	0	0	0.5	3/1	
19.	12AP038E	WB	28.0	0	0	0.5	0.5	34.0	9.0	1.0	0.5	0	0	0	0	0	0	3/1	
20.	12AP039A	WB	22.0	0	0	0	1.0	48.0	12.0	2.0	1.0	0	0	0	0	0	0	3/1	
21.	12AP039C	WB	22.0	0	0	0	0.5	34.0	0	2.0	0.5	0	0	0	0	0	0	3/1	
22.	12AP039E	WB	22.0	0	0	0	3.0	36.0	22.0	2.0	3.0	0	0	0	0	0	0	3/1	
23.	12AP042	WB	26.0	0	0	0.5	0.5	57.0	0	1.0	0.5	0	0	0	0	0	0	3/3	
24.	12AP044B	WB	24.0	0	0	2.0	0	1.0	52.0	0	3.0	0.5	0	0	0	0	0.5	3/3	
25.	12AP044C	WB	32.0	0	0	0	0.5	45.0	0	4.0	1.0	0	0	0	0	0	0.5	3/3	
26.	12AP044E	WB	34.0	0	0	0	0.5	49.0	0	4.0	0.5	0	0	0	0	0	0.5	3/3	
27.	12AP046A	M	3.5	0	0	0	1.0	10.0	0	0	0.5	0	0	0	0	0	0	3/3	
28.	12AP046A	WB	22.0	0	0	0	0.5	51.0	0	2.0	0.5	0	0	0	0	0	0	3/3	
29.	12AP046C	WB	22.0	0	0	3.0	1.0	34.0	14.0	3.0	1.0	0	0	0	0	0	0	3/3	
30.	12AP047 A	WB	24.0	0	0	0	1.0	70.0	0	0	1.0	0	0	0	0	0	0	3/3	
31.	12AP048	WB	34.0	0	0	0	0.5	38.0	4.0	3.0	0.5	0	0	0	0	0	0	3/3	
32.	12AP048B	WB	33.0	1.0	0	0	0	30.0	18.0	2.5	0.5	0	0	0	0	0	0	3/3	
33.	12AP050A	M	7.0	0	0	0	1.5	82.0	0	1.5	1.0	0	0	0	0	0	0	3/3	
34.	12AP050C	WB	23.0	1.0	0	2.0	0.5	24.0	30.0	4.0	1.0	0	0	0	0	0	0	3/3	
35.	12AP050E	WB	12.0	0	0	0	0.5	58.0	15.0	2.0	0.5	0	0	0	0	0	0	3/3	
36.	12AP054B	WB	28.0	0	0	0	0	30.0	20.0	2.0	3.0	0	0	0	0	0	0	3/3	
37.	12AP055B	WB	28.0	6.0	0	0	0	20.0	10.0	4.0	2.0	0	0	0	0	0	0	3/3	
38.	12AP056A	WB	26.0	0	0	0	0.5	45.0	0	3.0	0.5	0	0	0	0	0	0	3/3	
39.	12AP057A	ML	7.0	0	0	0	0	77.0	10.0	1.0	0.5	0	0	0	0	0	0	3/3	
40.	12AP057B	WB	32.0	2.0	0	0	1.0	20.0	18.0	4.0	3.0	0	0	0	0	0	0	3/3	
41.	12AP057J	WB	18.0	0	0	1.0	0	54.0	0	2.0	1.0	0	0	0	0	0	0	3/3	
42.	12AP057K	WB	34.0	0	0	0	1.0	20.0	10.0	8.0	1.0	0	0	0	0	0	0	3/3	

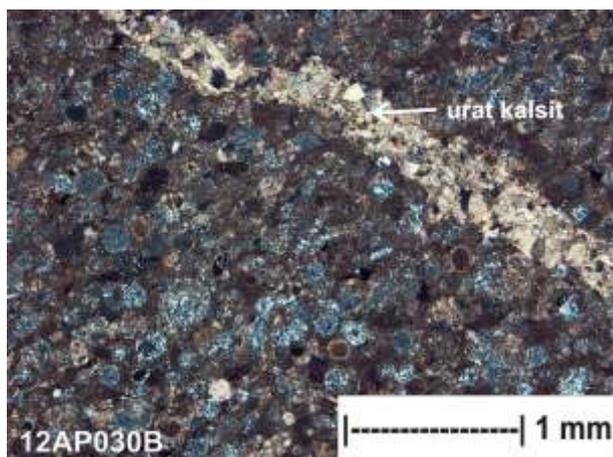
Keterangan:
 PB : Packstone bioklasika
 WB : Wackestone bioklasika
 WL : Wackestone bioklasika
 ML : Mudstone lumpungan
 M : Mudstone

Bi : Bioklas
 In : Intraklas
 Oo : Oolit
 Pe : Pelet
 Te : Material terigen

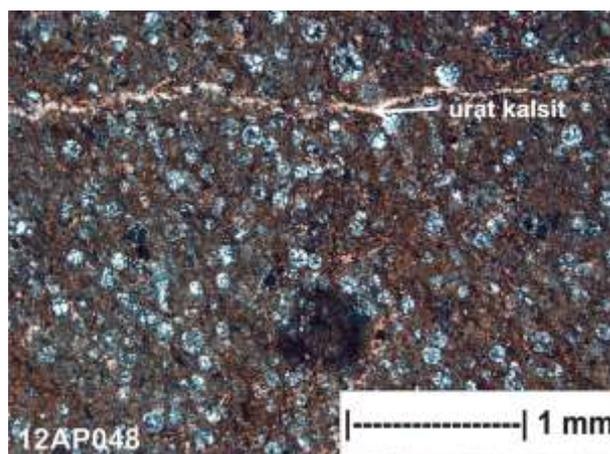
Cm : Lumpur karbonat
 Cl : Mineral lempung

Or : Orthosparit
 Ox : Oksida besi
 Ac : Lempung authigenik

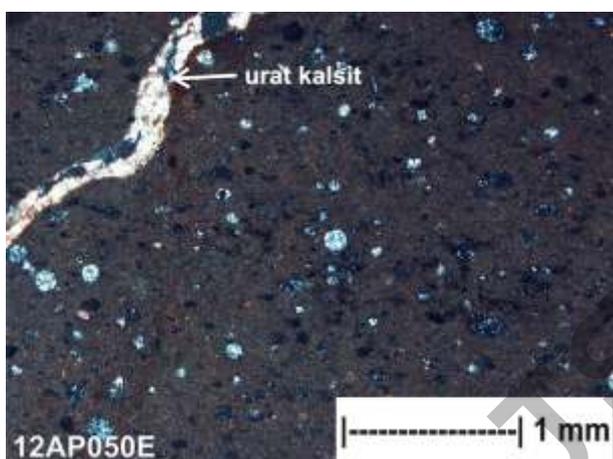
Mi : Mikrosparit
 Ps : Pseudosparit
 Do : Dolomit
 Qt : Silika dan lainnya
 Fo : Keperian batuan



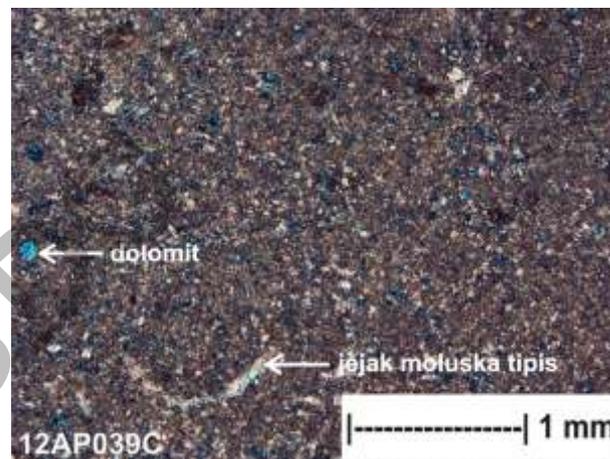
Gambar 4. *Packstone* dengan komponen bioklas dikuasai oleh fosil radiolaria tersilisifikasi. Tampak urat kalsit, awalnya adalah kekar halus yang berkembang menjadi sesar mikro. Sampel 12AP30B, kedudukan lensa nikol bersilang.



Gambar 5. *Packstone* yang memperlihatkan pengarah material, dengan matriks berupa campuran antara lumpur karbonat dan mineral lempung, dan bioklas dikuasai oleh fosil radiolaria tersilisifikasi. Sampel 12AP48, kedudukan lensa nikol bersilang.



Gambar 6. *Wackestone* yang memperlihatkan urat kalsit dari lingkungan meteorik freatik. Batuan berkembang dengan ukuran halus, terpilah buruk, terdukung lumpur, dengan butiran bioklas dikuasai fosil radiolaria. Sampel 12AP50E, kedudukan lensa nikol bersilang.



Gambar 7. *Wackestone* yang berkembang dengan ukuran halus dengan butiran adalah fosil radiolaria, selain sangat jarang jejak moluska tipis dan beberapa intraklas. Sampel 12AP39C, kedudukan lensa nikol bersilang.

Komponen mineral/material sekunder terdiri atas mikrosparit, pseudosparit, dolomit, dan kuarsa sekunder. Keporian batuan jarang hadir, pada umumnya bertipe sisa antar dan dalam partikel, retakan, dan gerowong pelarutan (*vug*).

Wackestone

Batugamping bioklastika halus hingga sedang wackestone yang dijumpai termasuk pula batugamping yang mempunyai komponen mineral lempung cukup nyata, sehingga batuanya dinamakan sebagai *wackestone* lempungan. *Wackestone* ini pada umumnya pejal dan beberapa

sampel memperlihatkan pengarah butiran, dan sebagian sampel telah juga telah terkekarkan intensif atau tersesarkan mikro. Batuan bertekstur bioklastika fragmental yang terpilah buruk, terdukung lumpur, kemasnya terbuka, dan dengan ukuran butir halus hingga sedang, yang berbentuk meruncing tanggung hingga membundar (Gambar 6). Komponen butiran karbonat masih didominasi oleh bioklas serta sedikit intraklas dan pelet. Fosil atau bioklas pada umumnya berupa fosil radiolaria utuh, serta sangat jarang kepingan-kepingan foraminifera planktonik, moluska tipis, dan fosil tak terperi (Gambar 7). Butiran terigen hadir berupa kepingan batuan argilit, kuarsa, feldspar, glaukonit,

dan mineral opak. Matriks berupa lumpur karbonat yang sedikit tergantikan, dan di beberapa sampel tampak bercampur tak terpisahkan dengan mineral lempung. Kadang-kadang mineral lempung ini jumlahnya cukup banyak sehingga mempengaruhi penamaan batuan menjadi lempungan. Penyemen batuan adalah orthosparit kalsit, serta beberapa semen ikutan lainnya seperti oksida besi dan lempung authigenik. Komponen mineral sekunder hadir berupa mikrosparit pengganti lumpur karbonat, pseudosparit pengganti sedikit bioklas, lumpur pemikritan, dolomit mengganti butiran dan matriks, serta beberapa silika kuarsa sekunder yang juga mengganti butiran dan matriks batuan. Keporian batuan hadir jarang bertipe sisa dalam partikel, peretakan, dan gerowong pelarutan (*vug*).

Mudstone

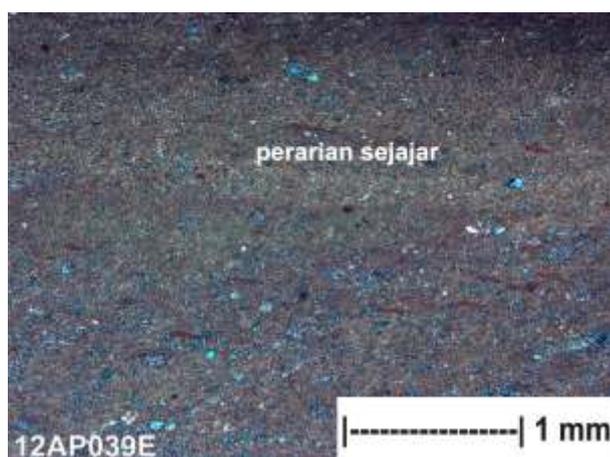
Batugamping bioklastika halus mudstone yang dijumpai termasuk pula batugamping yang mempunyai komponen mineral lempung cukup nyata, sehingga batuanya dinamakan sebagai *mudstone* lempungan. *Mudstone* ini pada umumnya pejal dan beberapa sampel memperlihatkan pola penyerpihan, dan sebagian sampel telah juga telah terkekarkan intensif atau tersesarkan mikro. Batuan bertekstur bioklastika fragmental yang terpilah buruk, terdukung lumpur, kemasnya terbuka, dan dengan ukuran butir halus yang berbentuk membundar tanggung hingga membundar. Komponen butiran karbonat hadir jarang terutama adalah bioklas fosil radiolaria utuh serta sangat jarang kepingan fosil yang lain dan pelet

(Gambar 8). Butiran terigen masih hadir berupa kepingan batuan argilit, kuarsa, feldspar, dan mineral opak. Matriks yang merupakan komponen utama batuan berupa lumpur karbonat yang sedikit tergantikan, dan kadang-kadang bercampur tak terpisahkan dengan mineral lempung yang jumlahnya cukup banyak (Gambar 9). Penyemen batuan adalah orthosparit kalsit khususnya pengisi retakan dan oksida besi. Komponen mineral sekunder hadir berupa mikrosparit pengganti lumpur karbonat, dolomit mengganti matriks, serta beberapa silika kuarsa sekunder yang mengganti butiran dan matriks batuan. Keporian batuan hadir jarang bertipe sisa dalam partikel, peretakan, dan gerowong pelarutan (*vug*).

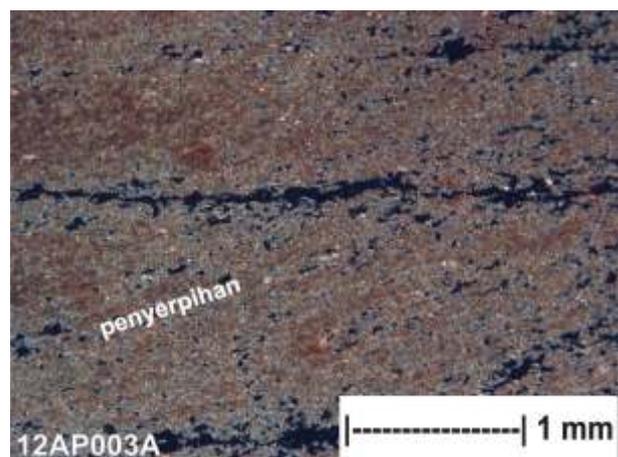
Mikrofasies

Interpretasi mikrofasies batugamping Formasi Nakfunu dilakukan dengan menggunakan pembagian mikrofasies menurut Flugel (1982), yang merupakan pengembangan sabuk fasies menurut Wilson (1975).

Packstone yang dijumpai di daerah ini memperlihatkan struktur pejal yang beberapa dengan pengarah butiran, bertekstur bioklastika halus hingga sedang dengan kemas tertutup dan terdukung butiran. Komponen butiran yang sangat dikuasai oleh fosil radiolaria tersilisifikasi, selain sangat jarang foraminifera kecil planktonik dan moluska tipis. Karakter batugamping yang seperti ini pada umumnya diendapkan di landaian laut terbuka yang berdekatan dengan lereng bawah (*open sea shelf near the lower slope*) yang dinotasikan dengan SMF2-FZ2.



Gambar 8. Struktur perarian sejajar pada *mudstone* dengan lumpur karbonat sebagai penyusun utama batuan. Sampel 12AP39E, kedudukan lensa nikol bersilang.



Gambar 9. *Mudstone* dengan lumpur karbonat bercampur tak terpisahkan dengan mineral lempung sebagai penyusun utama batuan. Samar-samar batuan ini memperlihatkan pola penyerpihan. Sampel 12AP03A, kedudukan lensa nikol bersilang.

Wackestone pada umumnya memperlihatkan struktur pejal yang beberapa dengan pengarahannya butiran, bertekstur bioklastika halus hingga sedang dengan kemas terbuka dan terdukung lumpur. Komponen butiran yang sangat dikuasai oleh fosil radiolaria tersilisifikasi, selain sangat jarang foraminifera kecil planktonik dan moluska tipis. Karakter batugamping yang seperti ini pada umumnya diendapkan di lingkungan tepi cekungan hingga cekungan (*basin margin to basin*) yang dinotasikan dengan SMF3-FZ3 hingga SMF3-FZ1.

Mudstone hadir dengan struktur pejal yang beberapa memperlihatkan pola penyerpihan, bertekstur bioklastika halus kemas terbuka dan terdukung lumpur. Komponen butiran yang utama adalah fosil radiolaria tersilisifikasi, selain sangat jarang tak terperi. Karakter batugamping yang seperti ini pada umumnya diendapkan di lingkungan yang lebih dalam, yaitu cekungan dengan pengendapan lambat (*basin with slow sedimentation*) yang dinotasikan dengan SMF1-FZ1.

Di ketiga fasies batuan tersebut, kadang-kadang masih dijumpai butiran terigen yang berupa kepingan batuan argilit, kuarsa, feldspar, glaukonit, dan mineral opak. Selain itu, matriks lumpur karbonat kadang-kadang bercampur tak terpisahkan dengan mineral lempung. Hal ini mencerminkan bahwa pada saat batugamping tersebut diendapkan, ada sumber batuan yang lain, yaitu batuan silisiklastika. Sumber batuan silisiklastika ini bercampur dengan sumber bahan batuan karbonat dengan mekanisme arus lemah dan pengendapan lambat. Rekaman mekanisme pengendapan dengan arus turbidit tidak tercermin pada hasil pengujian petrografi.

Proses Diagenesis

Data hasil pengujian petrografi yang telah dilakukan, menunjukkan beberapa rekaman proses diagenesis yang terawetkan pada batugamping Formasi Nakfunu di Timor Tengah Selatan, meliputi penyemenan, penggantian, silisifikasi, rekristalisasi, pendolomitan, pemampatan, peretakan, dan pelarutan.

Penyemenan

Penyemen utama batuan adalah semen karbonat yang berasal dari lingkungan meteorik freatik, dan sangat jarang semen non-karbonat dari lingkungan meteorik vadose. Semen karbonat kalsit pada umumnya berfungsi sebagai pengisi retakan, kekar dan sesar mikro yang terbentuk pada sebagian besar

batuan. Semen ini berasal dari lingkungan diagenesis meteorik freatik, berstruktur blocky drussy mosaic anhedral, berukuran kristal halus hingga sedang (Gambar 10). Hampir semua rongga retakan, kekar dan sesar mikro telah terisi oleh semen dari lingkungan meteorik freatik ini. Penyemen non-karbonat yang berasal dari lingkungan meteorik vadose adalah oksida besi yang hadir terbatas dengan bentuk dan penyebaran tidak teratur, juga mengisi retakan, kekar dan sesar mikro setelah pengisian kalsit berlangsung.

Penggantian

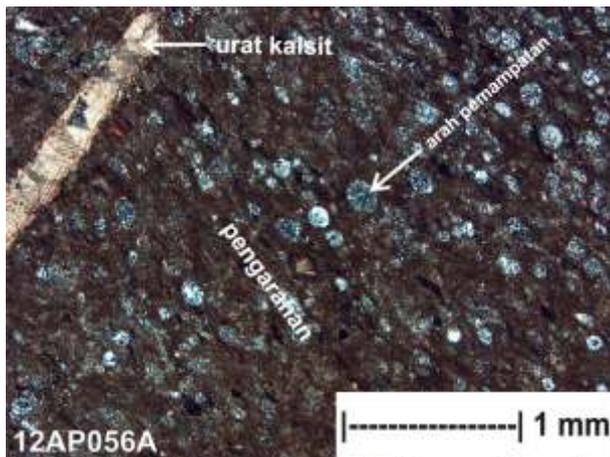
Proses penggantian terjadi pada semua sampel batuan, yaitu penggantian matriks lumpur karbonat yang membentuk mikrosparit. Mikrosparit yang terbentuk berkrystal sangat halus anhedral dan dijumpai kurang merata di dalam batuan. Rekaman proses penggantian fosil terjadi terbatas, khususnya fosil moluska tipis, yang tergantikan oleh kristal kalsit sangat halus anhedral. Beberapa fosil menjadi tidak teridentifikasi lagi akibat proses penggantian ini, meskipun beberapa individu fosil masih tampak dari bentuk pinggirannya, yaitu diduga fosil moluska tipis.

Silisifikasi

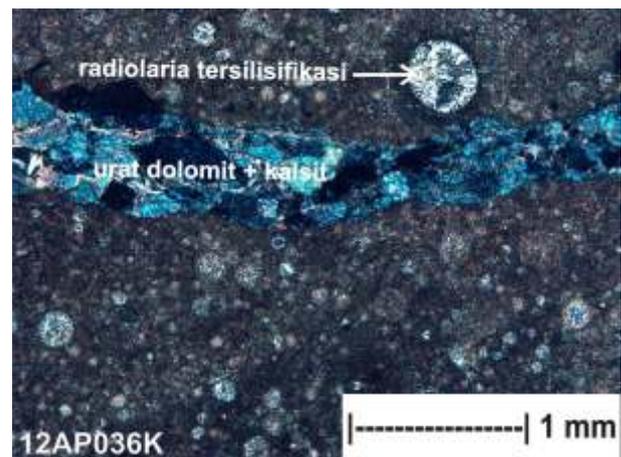
Rekaman proses silisifikasi teramati hampir pada semua sampel batuan dengan jumlah beragam. Kuarsa berkrystal sangat halus anhedral hadir tidak merata sebagai hasil silisifikasi matriks batuan, khususnya mineral lempung. Beberapa kristal kuarsa anhedral sangat halus hingga halus tampak mengganti fosil moluska dan foraminifera. Kuarsa sekunder berkrystal kipas radial anhedral halus hadir sebagai bahan pengisi rongga fosil fosil radiolaria (Gambar 11) yang tersebar sesuai dengan bentuk awal fosil.

Rekristalisasi

Rekaman proses rekristalisasi terekam pada beberapa butiran karbonat meskipun jumlahnya sangat terbatas. Sparit semu (pseudosparite) merupakan hasil rekristalisasi komponen butiran karbonat, khususnya butiran fosil sehingga jenis fosil tidak teridentifikasi lagi. Kenampakan fosil yang demikian ini disebut sebagai struktur siluman (ghost structure). Kenampakan fosil yang ada hanya teridentifikasi dari pola butiran awal (lihat Gambar 7).



Gambar 10. *Packstone* dengan memperlihatkan pengaratan material dan butiran yang menjadi lonjong akibat pemampatan. Tampak urat kalsit yang berasal dari lingkungan meteorik freatik. Sampel 12AP056A, kedudukan lensa nikol bersilang.



Gambar 11. *Wackestone* yang memperlihatkan urat dolomit bercampur kalsit. Tampak komponen bioklas dikuasai oleh fosil radiolaria tersilisifikasi. Sampel 12AP036K, kedudukan lensa nikol bersilang.

Pendolomitan

Pendolomitan material berlangsung pada beberapa sampel batuan, dan terjadi secara acak pada semua komponen batugamping Formasi Nakfunu. Dolomit hadir terbatas dan bersifat feroan berukuran kristal sangat berstruktur mosaik granular sebagai pengganti material halus seperti lumpur karbonat, atau dolomit berukuran kristal halus hingga sedang berstruktur mosaik anhedral hingga granular sebagai pengisi kekar dan retakan batuan (Gambar 11).

Pemampatan

Rekaman proses pemampatan batuan terlihat nyata pada beberapa batuan, dicirikan dengan bentuk hubungan butir panjang dan lengkung (*long and concave-convex*). Selain itu, proses pemampatan juga dicirikan dengan bentuk butiran fosil yang lonjong (lihat Gambar 10). Pada beberapa batuan, rekaman proses pemampatan yang tercermin dengan pola hubungan butir ini tidak terlihat dengan nyata, karena komponen batuan dikuasai oleh lumpur karbonat sehingga hubungan butir terlihat mengambang.

Peretakan

Retakan, kekar tektonik dan beberapa sesar mikro hadir pada kebanyakan sampel batugamping (lihat Gambar 4 & 5). Kekar gerus hadir berupa kekar rambut yang memotong butiran dan material lainnya. Retakan batuan lebih banyak terjadi sebagai kegiatan biota tumbuh-tumbuhan di permukaan sekarang ini. Rongga retakan tersebut sebagian kecil masih tetap

kosong, meninggalkan jenis keporian retakan. Sebagian retakan tersebut telah terisi oleh semen karbonat dari lingkungan meteorik freatik dengan struktur *blocky mosaic* hingga *drussy mosaic anhedral* berukuran kristal sangat halus hingga sedang (lihat Gambar 10).

Pelarutan

Proses pelarutan batugamping dapat terjadi pada berbagai lingkungan diagenesis, meskipun pada umumnya berlangsung di lingkungan meteorik vadose. Rekaman proses pelarutan dapat dijumpai di sedikit sampel batuan dan berintensitas rendah. Proses pelarutan yang terjadi tidak memilih kemas, yaitu terjadi secara acak pada komponen batugamping, baik pada butiran maupun penyemen. Hasil proses pelarutan tersebut adalah keporian sekunder jenis gerowong tidak teratur. Ukuran keporian yang dijumpai pada umumnya sangat halus dan belum berhubungan antar sesamanya yang membentuk jenis keporian saluran.

Diskusi

Di dalam eksplorasi geologi hidrokarbon, cukup banyak faktor yang berpengaruh kepada keterdapatan hidrokarbon di suatu daerah. Faktor tersebut meliputi beberapa aspek yang memungkinkan untuk dijumpainya suatu formasi batuan yang dapat berfungsi sebagai batuan sumber (*source rock*), batuan waduk (*reservoir*), dan batuan penutup (*seal*). Selain itu masih ada faktor lain, yaitu

adanya migrasi dan pematangan hidrokarbon yang sesuai. Dari seluruh faktor tersebut, yang akan diulas pada tulisan ini adalah kemungkinan Formasi Nakfunu sebagai batuan sumber dan waduk hidrokarbon.

Batugamping Formasi Nakfunu yang berumur Kapur dijumpai cukup banyak di Pulau Timor. Batugamping ini pada umumnya terendapkan di lingkungan laut dalam terbuka (Sashida dr., 1999; Martini dr., 2000), yang oleh penulis dapat dirinci menjadi mikrofases tepian cekungan, landaian terbuka hingga cekungan laut dalam. Secara regional telah terbukti bahwa batugamping Formasi Nakfunu ini masih merupakan perluasan paparan karbonat yang berada di Benua Australia, khususnya di wilayah Cekungan Bonaparte, barat laut Australia (Mory, 1991; Heine, 2002; Amir dr., 2010). Cekungan Bonaparte sendiri merupakan cekungan penghasil hidrokarbon di Australia (Cadman & Temple, 2003).

Endapan pelagis dengan konsentrasi suatu fosil tertentu, di daerah penelitian adalah radiolaria (telah dibahas oleh Sashida dr., 1999 dan Martini dr., 2000), sangat mungkin terjadi pada batugamping pra-Tersier (Tucker & Wright, 1990), termasuk batugamping Formasi Nakfunu. Endapan batugamping yang berada di wilayah lerengan dan cekungan (*slope and basin*) masih merupakan target untuk eksplorasi hidrokarbon, yang pada umumnya merupakan formasi batuan tua (Lapointe, 2004; Phillips dr., 2008). Berdasarkan karakter komponen yang dijumpai pada batugamping Formasi Nakfunu, tampaknya batugamping ini sulit untuk dapat berfungsi sebagai batuan sumber hidrokarbon, karena komponen biotanya kebanyakan adalah radiolaria.

Proses diagenesis yang berpengaruh terhadap batugamping Formasi Nakfunu telah berlangsung segera sesudah batuan terendapkan hingga batuan tersingkap di permukaan sekarang ini. Proses diagenesis yang satu berlangsung bersamaan atau menyusul mengikuti proses diagenesis lainnya (Maryanto, 2012). Sesuai dengan jenis batuan yang ada, yaitu *packstone*, *wackestone*, dan *mudstone*, yang kesemuanya diendapkan di lingkungan laut dalam, maka proses penyemenan awal dari lingkungan laut, seperti yang diulas oleh Braithwaite dr. (2000), tidak berjalan dengan baik. Penyemenan pada lingkungan penimbunan laut (*marine-burial diagenesis*; Melim dr., 2001; Ramadan dr., 2004) teramati hanya pada rongga dalam partikel, khususnya rongga fosil radiolaria, oleh kuarsa sangat

halus anhedral berstruktur kipas radial. Penyemenan terbanyak terjadi pada saat batuan terangkat ke permukaan, yaitu di lingkungan meteorik freatik, dicirikan dengan hadirnya kristal kalsit sangat halus hingga sedang berstruktur mosaik drus anhedral. Fase penyemenan terakhir ini berlangsung segera sesudah proses tektonik (pengkekanan dan pensesaran) berlangsung batuan tersebut tersingkap. Beberapa kristal kalsit ini tampak berasosiasi dengan dolomit besian. Unsur Fe dan Mg yang masuk ke dalam Formasi Nakfunu ini diperkirakan berasal dari batuan malihan Timor atau batuan ofiolit busur depan.

Proses penggantian dan rekristalisasi terekam pada beberapa fosil, khususnya kepingan fosil moluska tipis dan foraminifera planktonik. Proses penggantian masih menyisakan struktur dalam fosil moluska, sedangkan proses rekristalisasi merusak struktur dalam fosil. Silisifikasi berlangsung pada butiran dan matriks batuan. Silisifikasi pada matriks lebih banyak terjadi pada material lempung yang membentuk mikrokristalin kuarsa anhedral, sedangkan pada matriks lumpur karbonat proses tersebut tidak berlangsung. Silisifikasi butiran, yang dimulai dengan pengisian rongga fosil radiolaria dan beberapa berlanjut dengan rekristalisasi cangkang radiolaria itu sendiri, diperkirakan berlangsung pada fase diagenesis penimbunan dan berkaitan erat dengan kedalaman lingkungan pengendapan batuan.

Pada fase diagenesis penimbunan tersebut di atas juga mengakibatkan pemampatan batuan. Proses pengkekanan dan pensesaran mikro akibat tektonik yang diikuti pengangkatan formasi teramati pada beberapa sampel. Rongga retakan, kekar dan sesar mikro tersebut segera diisi oleh semen karbonat, baik kalsit maupun beberapa dolomit, dari lingkungan meteorik. Proses pelarutan paska pengangkatan pada zona meteorik pada fase diagenesis penyingkapan batuan adalah pembentukan keporian tipe gerowong pelarutan (*vuggy*; Moore, 1997).

Batugamping Formasi Nakfunu merupakan endapan laut dalam, yang pada umumnya kurang memungkinkan untuk dapat berfungsi sebagai batuan sumber (*source rock*) hidrokarbon. Sesuai dengan lingkungan pengendapan batugamping tersebut, maka kemungkinan keporian primer yang terbentuk adalah keporian dalam partikel (*intraparticle porosity*; Choquette & Pray, 1970). Namun demikian, jenis keporian ini kebanyakan telah terisi oleh lumpur karbonat dan atau kuarsa sekunder. Keporian sekunder yang hadir terutama adalah dari jenis retakan. Keadaan sekarang, retakan tersebut

kebanyakan juga telah terisi kembali oleh orthosparit kalsit dan sedikit dolomit besian dari lingkungan meteorik freatik. Pengisian ini berlangsung pada Tersier, paska tumbukan benua Australia dengan kerak samudera Banda. Dengan demikian, agak sulit diharapkan batugamping Formasi Nakfunu di daerah penelitian dapat berfungsi sebagai batuan waduk (*reservoir*) hidrokarbon.

Kesimpulan

Pengujian petrografi yang dilakukan terhadap empatpuluh dua sampel batugamping Formasi Nakfunu dari daerah Timor Tengah Selatan, memperlihatkan beberapa jenis batugamping, meliputi *packstone*, *wackestone*, *wackestone* lempungan, *mudstone*, dan *mudstone* lempungan.

Acuan

- Adams A.E. and MacKenzie, W.S., 1998. *A color atlas of carbonate sediments and rocks under the microscope*. John Wiley & Sons, New York, Toronto, 180 p.
- Amir, V., Hall, R., and Elders, C.F., 2010. Structural evolution of the Bonaparte Basin, northsest shelf Australia. *24th Indon. Petrol. Assoc. An. Conv. Ex. Proc.*, 2010.
- Audley-Charles, M.G., 2004. Ocean trench blocked and obliterated by Banda fore arc collision with Australian proximal continental slope. *Tectonophysics* 389: 65-79.
- Bathurst, R.G.C., 1975. *Carbonate sediments and their diagenesis, second enlarged edition*. Elsevier Scientific Publishing Company, New York, Amsterdam, Oxford, 658 p.
- Braithwaite, C.J.R., Taylor, J.D., and Glover, E.A., 2000. Marine carbonate cements, biofilms, biomineralization, and skeletogenesis: some bivalves do it all. *J. Sed. Res.* 70: 1129-1138.
- Cadman, S.J. and Temple, P.R., 2003. *Bonaparte Basin: Northern Territory, Western Australia, territory of Ashmore and cartier Islands Adjacent Area, and Joint Petroleum Development Area*. Australia Petroleum Accumulations Report 5, 2nd Edition, Geoscience Australia, Canberra.
- Charlton, T.R., 2002. The petroleum potential of East Timor. *APPEA Journal* 2002, 351-369.
- Charlton, T.R., 2012. The petroleum potential of East Timor. Consultant regional geologist. charlton@manson.demon.co.uk. <10-03-2013>
- Chamalaun, F.H. and Grady, A.E., 1978. The tectonic development of Timor: new model and its implications for petroleum system. *APPEA Journal*, pp. 102-108.
- Choquette P.W. and Pray, L.W., 1970. Geological nomenclature and classification of porosity in sedimentary carbonates. *Am. Assoc. Petrol. Geol. Bull.* 54: 207-50.
- Dunham, R.J., 1962. Classification of carbonate rocks according to depositional texture. In: W.E. Ham (ed). *Classification of carbonate rocks*. Am. Assoc. Petrol. Geol. Mem. 1: 108-121.
- Embry, A.F. and Klovan, J.E., 1971. A Late Devonian reef tract on north-eastern Banks Island, north west territory. *Can. Petrol. Geol. Bull.* 19: 730-781.
- Flügel, E., 1982. *Microfacies analysis of limestones*. Springer-Verlag Inc., Berlin, Heidelberg, New York, 633 p.
- Folk, R.L., 1962. Spectral subdivisions of limestone types. In: W.E. Ham (ed). *Classification of carbonate rocks*. Am. Assoc. Petrol. Geol. Mem. 1: 62-85.

Batugamping ini terendapkan di beberapa fasies pengendapan, meliputi epian cekungan, landaian laut terbuka, dan cekungan laut dalam. Rekaman proses diagenesis yang terawetkan pada batugamping itu, meliputi penyemenan, penggantian, silisifikasi, rekristalisasi, pendolomitan, pemampatan, peretakan, dan pelarutan. Batugamping tersebut tidak memungkinkan untuk berfungsi sebagai batuan sumber dan batuan waduk hidrokarbon.

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih yang tulus diucapkan kepada Sdr. Heriyanto dan Sdr. Herwin Syah selaku teknisi laboratorium atas batuan pemotretan sayatan pipih dan pendigitan gambar.

- Gregg, J.M., 2005. Photographic gallery of carbonate petrology. Via <http://web.umn.edu/~greggjay/Carbonate_Page/photogal.html> (27/2/2006).
- Hamilton, W., 1979. Tectonics of the Indonesia region. *USGS Prof. Paper* 1078: 1-345.
- Harris, R., Vorkink, M.W., Prasetyadi, C., Zobell, E., Roosmawati, N., and Apthorpe, M., 2009. Transition from subduction to arc-continent collision: geologic and neotectonic evolution of Savu island, Indonesia. *Geol. Soc. Am. Bull. (abstract)*.
- Heine, C., 2002. The tectonic evolution of the northern shelf of Australia and southern southeast Asia. Diploma Thesis, The University of Sydney (unpublish).
- James, N.P., 1991. Diagenesis of carbonate sediments, notes to accompany a short course. *Geol. Soc. Austr.*, 101 p.
- Kaneko, Y., Maruyama, S., Kadarusman, A., Ota, T., Ishikawa, M., Tsujimori, T., Ishikawa, A., and Okamoto, K., 2007. On-going orogeny in the outer-arc of the Timor–Tanimbar region, eastern Indonesia. *Gondwana Research* 11: 218–233.
- Lapointe, P., 2004. Deep water carbonates, the next frontier play? Am. Assoc. Petrol. Geol. Int. Conv. October 24-27, 2004 (abstract).
- Longman, M.W., 1980. Carbonate diagenetic textures from nearsurface diagenetic environments. *AAPG Bull.* 64: 461-487.
- MacKenzie, W.S., Donaldson, C.H., and Guilford, C., 1984. *Atlas of sedimentary rocks and their textures*. Longman Scientific and Technical, Essex.
- Martini, R., Zaninetti, L., Villeneuve, L., Corne, J.J., Krystyn, L., Cirilli, S., Wever, P., Dumitrica, P., and Harsolumakso, A., 2000. Triassic pelagic deposits of Timor: palaeogeographic and sea-level implications. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 160: 123–151.
- Maryanto, S., 2012. Limestone diagenetic records based on petrographic data of Sentolo Formation at Hargorejo traverse, Kokap, Kulonprogo. *J. Geol. Indon.* 7: 87-99.
- Melim, L.A., Swart, P.K., and Maliva, R.G., 2001. Meteoric and marine-burial diagenesis in the subsurface of Great Bahama bank. *SEPM Spec. Publ.* 70: 137-161.
- Moore, C.H., 1997. *Carbonate diagenesis and porosity*. Developments in sedimentology 46. Elsevier Science B.V., 338 p.
- Mory, A.J., 1991. *Geology of the offshore Bonaparte Basin Northwestern Australia*. Geological Survey of Western Australia Report 29.
- Permana, A.K., 2012. Penelitian stratigrafi cekungan Timor. Laporan teknis internal kelompok kerja survei dinamika cekungan tahun Anggaran 2012, Pusat Survei Geologi Bandung (tidak terbit).
- Phillips, J., Watts, N., and McIlreath, I., 2008. Carbonate slope and basin deposits: a review of models, worldwide examples and their relevance to the western Canadian sedimentary basin. *CSPG CSEG CWLS Convention 2008* (summary).
- Railsback, L.B., 2002. An Atlas of pressure dissolution features. Via: <<http://www.gly.uga.edu/railsback/PDFindex1.html>> (20/02/2006).
- Ramadan, K.A.Al., Hussain, M., Imam, B., and Saner, S., 2004. Lithologic characteristics and diagenesis of the Devonian Jauf sandstone at Ghawar Field, Eastern Saudi Arabia. *Marine and Petroleum Geology* 21: 1221–1234
- Read, J.F., 1985. Carbonate platform facies models. *Am Assoc. Petrol. Geol. Bull.* 69: 1-21.
- Richardson, A. N. and Blundell, D.J., 1996. Continental collision in the back arc. In: Hall, R. and Blundell, D.J. (Eds). Tectonic evolution of southeast Asia. *Geol. Soc. Am. Spec. Publ.* 106: 47-6

- Roberts, G., Ramsden, C., Christoffersen, T., Wagimin, N., and Muzaffar, Y., 2011. East Indonesia: plays and prospectivity of the west Aru, Kai Besar and Tanimbar area - Identified from new long offset seismic data. *AAPG An. Conv. and Exh.*, Houston, Texas, April 10-13, 2011.
- Rosidi, H.M.D., Suwitodirdjo, K., and Tjokosopoetro, S., 1979. *Geological map of Kupang-Attambua quadrangle, Timor, scale 1 : 250.000*. Geol. Res. Dev. Centre Bandung, Indonesia, 17 p.
- Sani, K., Jacobson, M.L., and Sigit, R., 1995. The thin-skinned thrust structures of Timor. *Proc. Indon. Petrol. Assoc.* 24: 277-193.
- Sashida, K., Kamata, Y., Adachi, S., and Munasri, 1999. Middle Triassic radiolarians from west Timor, Indonesia. *J. Paleontology* 73: 765-786.
- Sawyer, R.K., Sani, K., Brown, S., 1993. Stratigraphy and sedimentology of west Timor, Indonesia. *Proc. Indon. Petrol. Assoc.* 22: 1-20.
- Scholle, P.A., 1978. *A color illustrated guide to carbonate rock constituents, textures, cements, and porosities*. Am. Assoc. Petrol. Geol. Mem. 27, Tulsa, 241 p.
- Tucker, M.E. and Wright, V.P., 1990. *Carbonate sedimentology*. Blackwell Scientific Publications, Oxford, London, Edinburg, Cambridge, 482 p.
- Ulmer-Scholle and Mosley, 2000. Sedimentary petrography. *Geology* 424/524. Via: < <http://www.ees.nmt.edu/Geol/classes/geol524/homepage.html> > (20/02/2006).
- Wilson, J.L. 1975. *Carbonate facies in geologic history*. Springer-Verlag, New York, Heidelberg, Berlin, 471 p.

JSDG