

ANALISIS TAHAPAN DIAGENESIS INTERVAL BATUPASIR PADA SUMUR DAR-24 FORMASI GABUS LAPANGAN ANOA CEKUNGAN NATUNA BARAT

Hanindya Ramadhani

Jurusan Teknik Geologi, Sekolah Tinggi Teknologi Nasional Yogyakarta
Jalan Babarsari No.1 Depok, Sleman, D.I.Yogyakarta, Indonesia
r.hanindya89@gmail.com

ABSTRAK

Tahapan diagenesis suatu batuan akan mempengaruhi kualitas batuan tersebut sebagai reservoir. Oleh karena itu, perlu dilakukan analisis tahapan diagenesis batupasir pada lapangan Anoa, Cekungan Natuna Barat dikarenakan diagenesis batupasir pada lapangan ini belum teridentifikasi dengan baik. Analisis tahapan diagenesis batupasir dilakukan dengan menggunakan metode analisis sayatan tipis pada lima kedalaman yang berbeda. Penentuan tahapan diagenesis dilakukan dengan pengamatan produk diagenesis pada sayatan tipis yang berupa tingkat sementasi, kompaksi, rekristalisasi, pelarutan, replacement dan jenis porositas yang berkembang pada batuan.

Adanya semen quartz overgrowth dan semen kalsit yang hadir pore filling dan pore lining menunjukkan proses diagenesis berupa rekristalisasi dan sementasi. Kehadiran mineral mika yang bengkok dan kontak butir tipe concavo-convex dan suture menjadi penanda kompaksi lanjut. Pelarutan pada matriks, semen dan butiran pada sampel sayatan batuan lapangan ini menunjukkan bahwa batuan telah sampai pada tahapan mesodiagenesis. Dari pengamatan yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa fase diagenesis yang telah dilewati batuan ini adalah fase eodiagenesis dan mesodiagenesis.

Porositas yang terdapat pada sayatan tersebut berupa porositas primer (interpartikel) dan porositas sekunder (hasil pelarutan) dengan rentang nilai antara 15%-20% (sedang sampai baik). Plot silang hubungan porositas terhadap pertambahan kedalaman (dalam feet) menunjukkan distribusi linear, dimana seiring bertambahnya kedalaman porositas akan semakin berkurang. Maka dapat disimpulkan bahwa proses diagenesis sangat berpengaruh terhadap kualitas batuan reservoir di daerah penelitian.

Kata kunci: Formasi Gabus, diagenesis batupasir, tahapan diagenesis.

ABSTRACT

Stage of diagenesis of a rock will effect the quality of the rock as a reservoir. Hence, it is a necessary to analyze the diagenesis stage of sandstone at Anoa Field, West Natuna Basin, since the diagenesis stage has not been identified properly. The analysis is carried out using thin section method in five different depths. The product of diagenesis is observed for its cementation level, compaction, recrystallization, dissolution, replacement, and type of porosity wich developed in the rock.

The appearance of quartz overgrowth cement and pore filling and pore lining calcite cement show a diagenesis stage which are recrystallization and cementation. The appearance of bent mica mineral and suture grain contact can be a sign of late stage compaction. Dissolution of matrix, cement and grain in the sample show that the rock has come to mesodiagenesis stage. As a result of the observation, the conclusion can be made that the rock has passed the eodiagenesis and mesodiagenesis phase.

Porosity of the section is both primary porosity (interparticle) and secondary porosity (dissolved) with a range 15%-20% (medium to good). Crossplot depth vs porosity show a linear distribution, which when the depth is increase the porosity will decrease. So it can be concluded that the process of diagenesis is very influential on the quality of reservoir rocks in the study area.

Keyword: Gabus Formation, sandstone diagenesis, stage of diagenesis.

1. Pendahuluan

Tahapan diagenesis suatu batuan akan mempengaruhi kualitas batuan tersebut sebagai reservoir. Oleh karena itu, perlu dilakukan analisis tahapan diagenesis batupasir pada lapangan Anoa, Cekungan Natuna Barat diakrenakan diagenesis batupasir pada lapangan ini belum teridentifikasi dengan baik. Kali ini peneliti akan menentukan diagenesis dari batupasir dengan metode deskripsi petrografi. Masing-masing sampel mewakili tiap kedalaman tertentu. Deskripsi petrografi diharapkan dapat mengidentifikasi jenis litologi dari masing-masing sampel batuan beserta diagenesisnya. Sampel petrografi diidentifikasi jenis

litologinya menggunakan tatanama batuan dari Gilbert (1982). Sampel yang sudah dideskripsi petrografi akan dikompilasi menjadi satu untuk ditentukan fase diagenesisnya. Fase diagenesis suatu batuan sangat mempengaruhi kualitas batuan reservoir, untuk itu sangat penting dilakukan identifikasi fase diagenesis guna mengetahui kualitas batuan reservoir pada daerah penelitian. Maksud dan tujuan Penelitian :

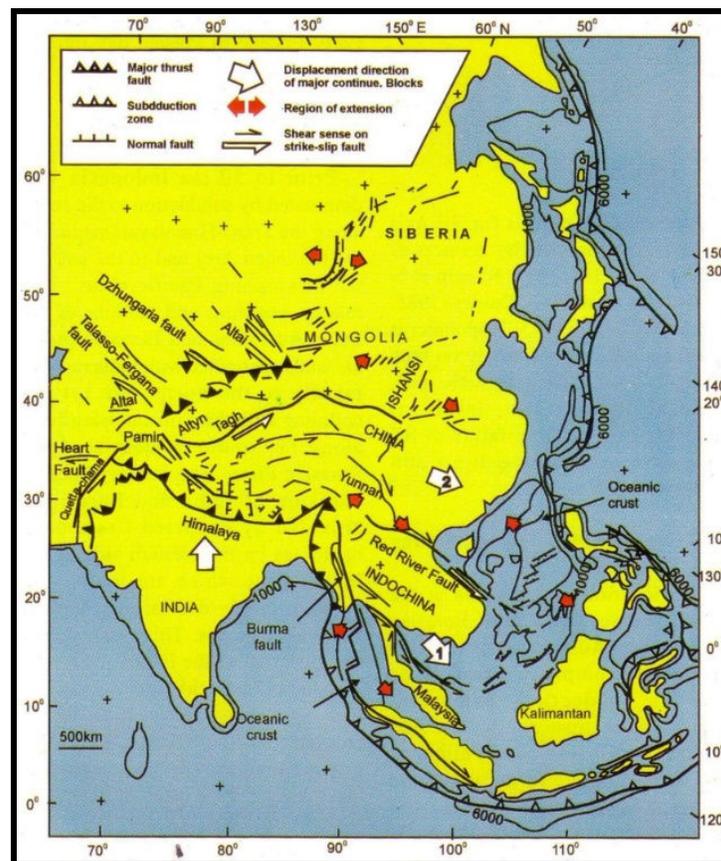
1. Bagaimana tahapan diagenesis dari batupasir di daerah penelitian?
2. Bagaimana pengaruh fase diagenesis terhadap kualitas batuan reservoir?

2. Tinjauan Geologi

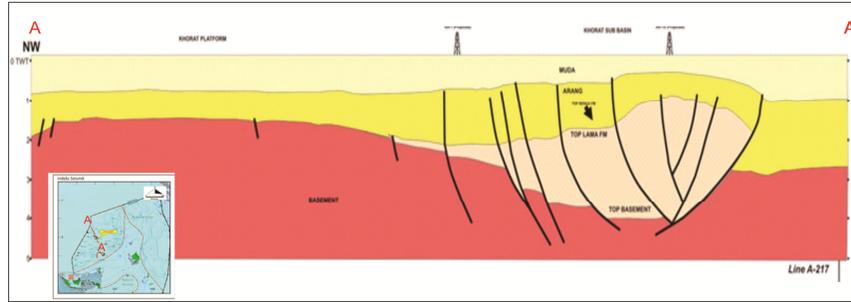
Model tektonik regional perkembangan Asia Tenggara, seringkali diikuti oleh tema “tektonik intrusi” dilakukan oleh Tapponnier dkk (1982). Banyak perkembangan tektonik cekungan sedimentasi di Asia Tenggara merupakan atribut dari efek samping tumbukan lempeng India dengan Asia. Awal tumbukan India dan Asia pada 50 Jtl, diteruskan dengan pergerakan ke utara dan menghasilkan kompleks deformasi pada Indochina dan daerah Asia Tenggara. Pada Daratan Sunda, implikasi lekukan hasil tumbukan India pada Asia tersebut berupa kompleks deformasi yang berlanjut terus sampai sekarang,

Terjadinya ekstrusi fragmen benua dari batas timur Asia berada pada sepanjang sesar mendatar utama di bagian timur di dekat perbatasan tumbukan. Pergerakan mendatar tersebut sangat penting dan berasosiasi dengan pembentukan cekungan (Gambar 1 dan Gambar 2). Cekungan Malaya dan Semenanjung Thailand memiliki komponen nyata dari pergesehan mendatar dan sesar yang mengontrol perkembangannya [11].

Struktur yang berkembang di daerah ini adalah sesar-sesar berarah baratlaut-tenggara dan timurlaut-barat daya. Sesar mendatar dan sesar normal serta inversi berkembang baik di daerah ini.

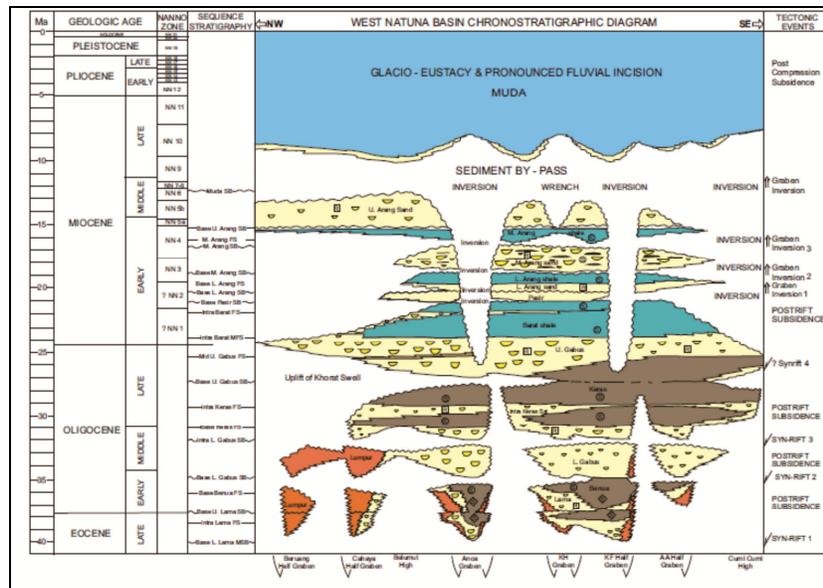


Gambar 1. Kerangka tektonik regional Indonesia [11].



Gambar 2. Penampang seismik regional Cekungan Natuna Barat [7].

Susunan stratigrafi pada Cekungan Natuna Barat dikontrol oleh empat episode tektonik utama yaitu: (1) *Syn-rift* selama Eosen – Oligosen, (2) *post-rift* pada Oligosen Akhir, (3) *inversion* pada Miosen Awal-Tengah dan (4) *post-inversion* pada Miosen Akhir – Pliosen (Gambar 3).



Gambar 3. Kronostratigrafi Cekungan Natuna Barat [3]

Anoa graben terisi oleh Formasi Lama, Lower Gabus, dan Upper Gabus selama periode *syn-rift*, diselingi oleh endapan serpih lakustrin Benua, Keras dan Barat periode *post-rift*, kemudian Formasi Pasir dan Arang pada periode *syn-inversion*, dan Formasi Muda pada periode *syn-inversion*.

2. Diagenesis

Diagenesis adalah semua perubahan baik itu fisika, kimia dan biologi yang terjadi pada sedimen setelah mengalami pengendapan dan sebelum metamorfisme (<150°-250°). Proses ini terus berlangsung selama sedimen diendapkan dalam suatu lingkungan yang dipengaruhi oleh temperatur, tekanan dan proses kimiawi saat mengalami siklus pengendapan, *burial* dan pengangkatan (*uplift*) pada sejarah cekungan.

Perubahan-perubahan ini dapat mempengaruhi perubahan mineralogi dalam batuan sedimen, dalam hal ini batupasir akan memiliki tekstur dan karakteristik mineral yang berubah-ubah dalam setiap tahap diagenesis. Dalam diagenesis terjadi berbagai proses yaitu sementasi, kompaksi, dehidrasi, disolusi, rekristalisasi, *replacement*, presipitasi, neoformasi dan neomorfisme. Dua proses dasar yang dapat diamati langsung dalam petrografi yaitu kompaksi dan sementasi.

a. Sementasi

Sementasi adalah proses diagenesis dimana mineral *authigenic* diendapkan dalam pori fluida pada sedimen sebelum terjadinya litifikasi, hal ini pada umumnya dapat dikenali pada sayatan tipis dengan melihat bagian yang melapisi mineral (*coat grains*), berkembangnya area kontak antar butir, dan juga berkurangnya porositas. Pada umumnya jenis semen yang terdapat dalam batupasir yaitu kuarsa (SiO_2), kalsit (CaCO_3), Hematit (Fe_2O_3) dan lempung (kaolinit, monmorilonit, klorit).

Semen kuarsa pada umumnya terbentuk disekitar butiran kuarsa, secara optik dan kristalografi bentuknya mengikuti bentuk dari butiran. Semen kuarsa muncul pada batuan yang memiliki cukup banyak mineral kuarsa. Senyawa SiO_2 masuk kedalam pori fluida dalam batupasir sebelum akhirnya membentuk semen kuarsa.

Semen kalsit terbentuk oleh senyawa CaCO_3 dalam keadaan kejenuhan air yang memungkinkan CaCO_3 untuk melewati butiran batupasir sebelum akhirnya terjadi sementasi. Semen kalsit cenderung kurang resisten dibanding semen kuarsa sehingga dapat terbentuk dan kemudian larut. Bentuk semen kalsit pada umumnya tidak menerus pada butiran dan terkadang dapat membentuk sementasi secara lokal.

b. Kompaksi

Pada saat perlapisan di batuan sedimen terbentuk, tekanan yang ada di perlapisan paling bawah akan bertambah akibat penambahan beban di atasnya. Akibat penambahan tekanan ini, air yang ada di dalam lapisan-lapisan batuan akan tertekan sehingga keluar dari lapisan. Proses ini disebut kompaksi. Kompaksi dapat digambarkan sebagai persentase dari porositas awal dari batuan. Kompaksi berdasarkan prosesnya dapat dibagi menjadi dua yaitu kompaksi mekanis dan kompaksi kimiawi.

Pada batuan yang tersortasi cukup baik dengan ukuran butiran sedang memiliki nilai porositas awal 40%. Faktanya nilai porositas sangat dipengaruhi oleh sortasi bukan oleh ukuran butir. Pembebanan *overburden* digambarkan sebagai *effective stress* yang mengartikan perbedaan tekanan lithostatic dan tekanan fluida [2].

Kompaksi pada batupasir hadir sebagai respon dari empat proses yaitu; *grain rearrangement* (penyusunan butiran), deformasi dari komponen ductile, disolusi dan fracture dari komponen brittle. Hal tersebut dapat dilihat pada gambar di bawah ini:

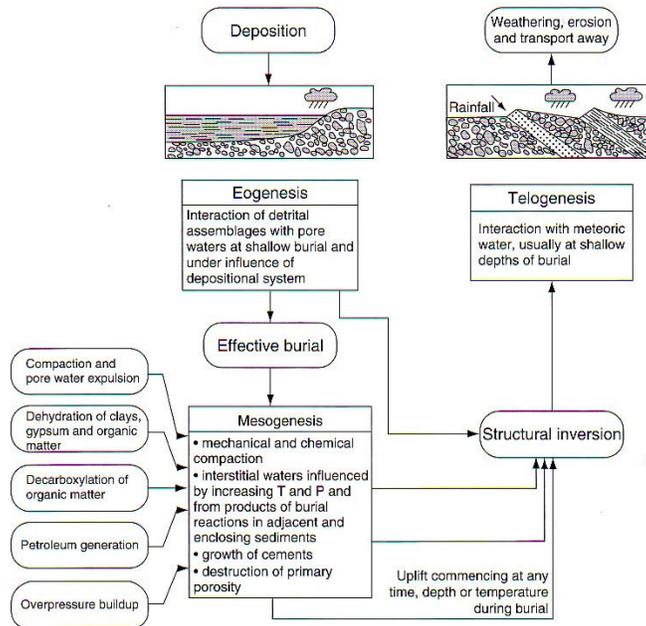
c. Tahapan Diagenesis

Tahapan diagenesis dihasilkan dari kerangka pemikiran hubungan proses diagenesis dengan evolusi dari cekungan sedimen. Secara garis besar tahapan diagenesis dibagi menjadi tiga yaitu tahapan eodiagenesis (awal diagenesis), mesodiagenesis (*burial* diagenesis) dan telodiagenesis (diagenesis berhubungan dengan *uplift*).

Eodiagenesis adalah seluruh proses yang terjadi pada atau dekat dengan permukaan yang dialami oleh sedimen, dimana proses kimia dari air permukaan dikontrol oleh lingkungan pengendapan. Dalam tahapan ini pengaruh pori fluida hasil pengendapan awal sangat mendominasi pada batuan, juga menunjukkan perkembangan proses pelapukan dan tanah dari lingkungan pengendapan kontinen. Kedalaman tahapan ini terjadi sangat dipengaruhi oleh *aquifer*, *aquitard*, sesar *syndimentary* dan permeabilitas *aquifer*.

Mesodiagenesis hadir saat sedimen mengalami *burial* atau juga dapat disebut sebagai proses diagenesis dimana sedimen telah melewati proses yang dipengaruhi oleh lingkungan pengendapan menuju tingkat metamorfisme rendah. Dalam beberapa kejadian, mesodiagenesis memiliki ketebalan sedimen 100-1000 m dengan kedalaman setara 200-250° C. Beberapa faktor yang mempengaruhi tahapan ini adalah *time-temperature history*, mineralogi primer, hilangnya material dan penyebaran material menuju litogi terdekat, gas hidrokarbon, kehadiran fluida oil, dan geokimia dari air pori. Batas antara eodiagenesis dan mesodiagenesis dapat dilihat dari nilai temperatur dan kedalaman proses itu terjadi.

Telodiagenesis terjadi pada batuan yang mengalami pengangkatan ataupun tersingkap ke bagian permukaan dan bereaksi dengan air meteorik, dan tidak berhubungan dengan lingkungan pengendapan dari sedimen itu terbentuk. Dalam telodiagenesis beberapa hal yang dapat dilihat yaitu kontak batuan dengan air dengan salinitas rendah, oksidasi yang cukup tinggi, senyawa CO_2 masuk kedalam air. Kontak air yang terjadi dengan batuan yang ada dapat mengubah geokimia batuan, contohnya alterasi feldspar menjadi mineral lempung dan oksidasi mineral ferric (oksidasi feroan kalsit dan dolomit).



Gambar 4. Skema yang menunjukkan hubungan antara setiap tahapan diagenesis [2].

Tabel 1. Tahapan diagenesis batuan sedimen [1].

	Tahap Diagenesis	Proses Diagenesis	Hasil
Burial (Penendaman)	Eogenesis	Organik reworking (bioturbasi)	Penghancuran struktur sedimen awal, Pembentukan lapisan acak dan jejak-jejak lainnya.
		Sementasi, dan pergantian mineral	Pembentukan pirit (lingkungan reduksi) atau oksidasi besi (lingkungan oksidasi). Pembentukan semen kwarsa, karbonat, dan kehadiran mineral lempung (klorit dan kaolinit).
	Mesogenesis	Kompaksi fisika Kompaksi kimiawi (larutan tekatan/ pressure solution)	Kemas butiran semakin padat, pembentukan semen kalsit dan kwarsa yang diikuti pengurangan porositas dan pengurangan ketebalan lapisan.
		Sementasi	Pembentukan semen kalsit dan kwarsa yang diikuti oleh pengurangan porositas.
		Disolusi oleh larutan pori	Penghilangan larutan pada semen kwarsa dan karbonat diikuti pembentukan porositas sekunder karena pelarutan mineral yang tidak stabil.
		Pergantian mineral	Pergantian sebagian atau seluruhnya butiran kwarsa dan matriks lempung oleh mineral baru (contohnya K-feldspar menjadi kalsit).
Pembentukan mineral lempung autigenik	Aleterasi suatu jenis mineral lempung ke jenis lainnya (misalnya smektit ke illit) atau klorit dan kaolinit ke illit).		
Uplift (Pangkatatan)	Telogenesis	Disolusi	Pelarutan semen karbonat
		Pergantian mineral	Aleterasi mineral K-feldspar ke mineral lempung
		Oksidasi	Oksidasi mineral Fe-karbonat menjadi oksidasi besi, oksidasi pirit ke gipsum, pelarutan dari mineral-mineral yang kurang stabil seperti piroksen dan amfibol.

(Boggs, 2001)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan klasifikasi Gilbert (1953) sayatan tipis pada sumur ANOA DAR-24 dapat dibagi menjadi 2 kelompok yaitu *Lithic Arenite* yang hadir pada kedalaman 4960,4 kaki, 4996,1 kaki, 5073,1 kaki dan *Quartz Arenite* pada kedalaman 4982,1 kaki & 4983,4 kaki. Kelima interval kedalaman tersebut termasuk dalam Formasi Gabus bagian tengah (Gambar 5.) [5].

GENERALIZED STRATIGRAPHIC COLUMN ANOVA FIELD AREA					
AGE	FORMATION	LITHOLOGY	DESCRIPTION	DEP. EVN.	SOURCE ROCK
U. MIOCENE TO RECENT	MUDA 1200'-1400'		CLAYSTONE, SH MARINE SHELLS	MARINE	
	UPPER GABUS ± 2000'		SANDSTONE. SHALES	Yes	↑
OLIGOCENE	GAJAH SHALE 600'		SHALE, grey-brn. (heaving)		?
	MIDDLE GABUS ± 4400'		'A' Group Sandstones, generally fine grained, 'B' Group be coming coarser with depth. 'C' Group 'D' Group 'E' Group 'F' Group 'G' Group 'H' Group	FLUVIATILE TO LACUSTRINE	?
	SAMBAS SHALE ± 200'		SHALE	Yes in certain part with depth due to compaction.	?
	LOWER GABUS		SANDSTONE & SHALES		
LC. CRET.	BASEMENT		GRANITE & METAMORPHICS		

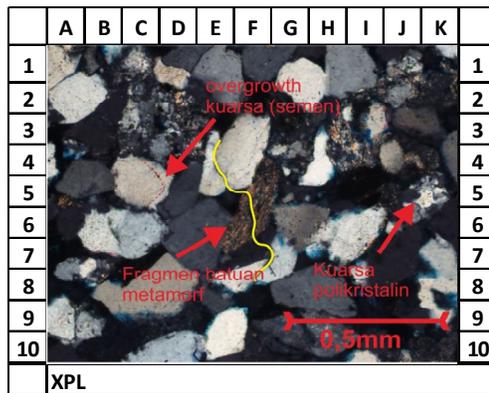
Gambar 5. Kolom stratigrafi Lapangan Anova yang menunjukkan bahwa kedalaman interval sayatan tipis berada pada Formasi Gabus bagian tengah (*Middle Gabus Fm.*).

Diagenesis Daerah Penelitian

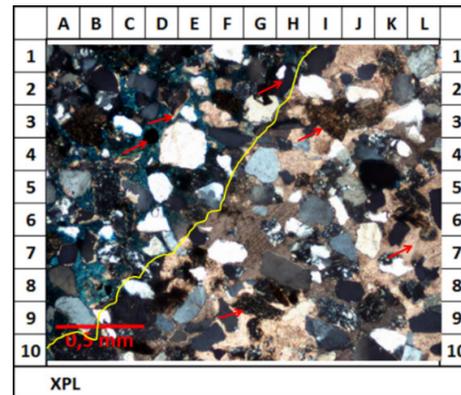
Analisis tahapan diagenesis batupasir dilakukan pada lima sayatan tipis pada kedalaman yang berbeda yang sebelumnya sudah diseskripsi secara petrografi. Kemudian ditentukan tahapan diagenesis-nya dengan pengamatan produk diagenesis pada sayatan tipis yang berupa tingkat sementasi, kompaksi, pelarutan, replacement dan jenis porositas yang berkembang pada batuan.

a. Sementasi

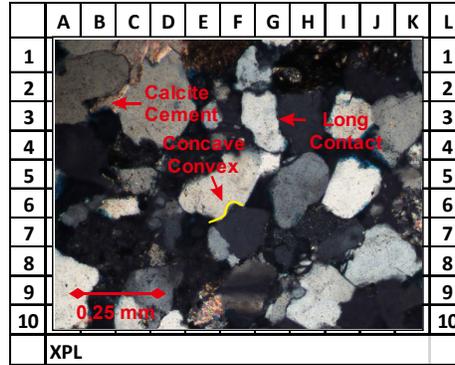
Sementasi yang terdapat pada sayatan sampel sayatan umumnya didominasi oleh *quartz overgrowth* dan semen kalsit yang hadir *pore filling* dan *pore lining*. Hadirnya semen tersebut menunjukkan bahwa batuan tersebut sudah memasuki fase mesodiagenesis.



Gambar 5. Sementasi quartz overgrowth D5.



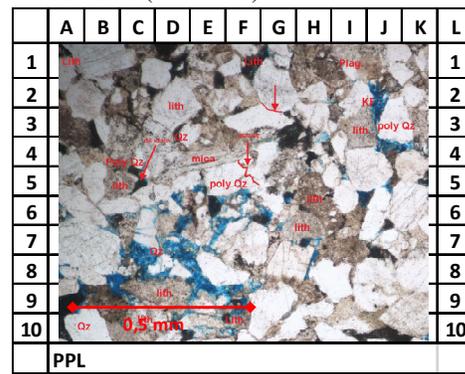
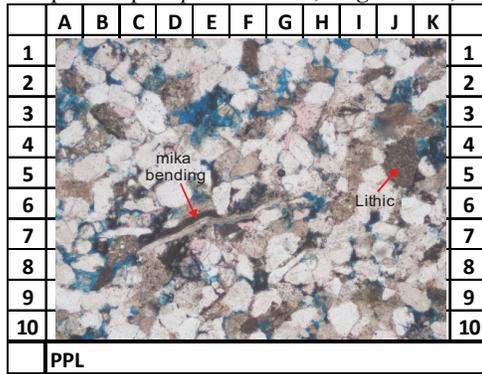
Gambar 6. Sementasi kalsit pore lining E3.



Gambar 7. Sementasi kalsit pore filling C1, D1 dan D2.

b. Kompaksi

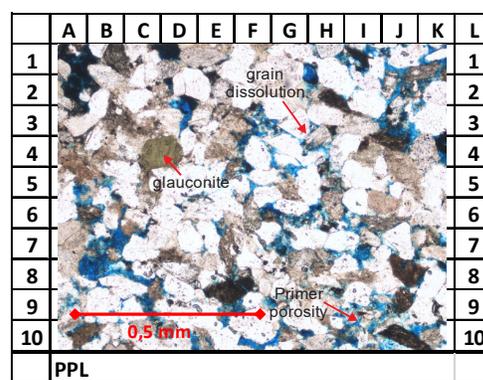
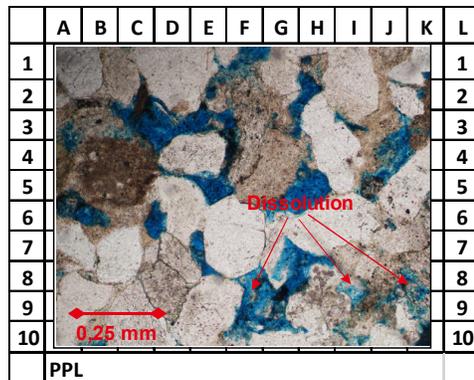
Proses kompaksi ditunjukkan dengan kontak antar butir yang bervariasi dari masing-masing sampel yang mewakili tiap kedalaman. Kehadiran mineral mika yang bengkok dan bentuknya mengikuti butiran di sekitarnya biasanya menjadi penanda proses kompaksi (Gambar 8). Kehadiran kontak butir tipe *suture* juga penanda kompaksi lanjut dimana terjadi pada butiran yang mempunyai kekerasan yang sama pada batuan sedimen (Gambar 9). Begitu juga adanya kontak butir lain yang dapat mengindikasikan kompaksi seperti *point contact*, *long contact*, *concave - convex contact* (Gambar 7).



Gambar 8. Mineral mika yang bengkok (D7). Gambar 9. Kontak antar butir berupa suture contact (F5).

c. Pelarutan

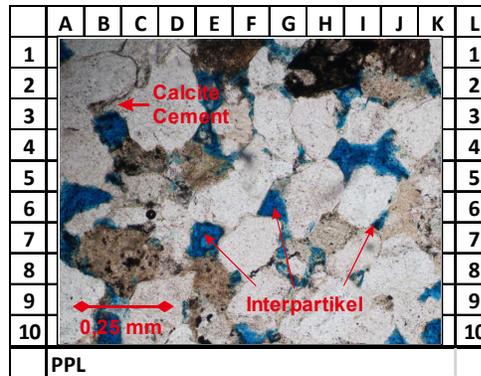
Pelarutan yang terjadi pada sampel-sampel batuan didominasi oleh pelarutan matriks dan juga pada beberapa bagian terlihat pelarutan pada mineral ataupun fragmen batuanya (Gambar 11). Mineral feldspar merupakan mineral yang paling sering terlihat mengalami pelarutan. Rongga ini terbentuk dari matriks batuan dan sebagian terjadi pada butiran yang mengalami pelarutan oleh fluida formasi. Pelarutan tersebut hadir hampir pada semua sampel batuan.



Gambar 10. Contoh pelarutan pada matriks G9; I9; K9 Gambar 11. Contoh pelarutan pada butiran H4

d. Porositas

Porositas primer yang berkembang di daerah penelitian adalah porositas interpartikel. Porositas interpartikel merupakan porositas yang hadir akibat rongga antar butiran penyusun batuan itu sendiri (Gambar 12).



Gambar 12. Contoh porositas interpartikel.

Porositas yang banyak hadir pada sampel yang dianalisis adalah porositas sekunder yaitu porositas yang hadir akibat proses pelarutan. Pelarutan yang terjadi pada sampel sayatan batuan lapangan ini adalah pelarutan pada matriks, semen dan butiran. Pelarutan pada matriks, semen dan butiran menunjukkan bahwa batuan telah sampai pada tahapan mesodiagenesis (Gambar 10 dan 11).

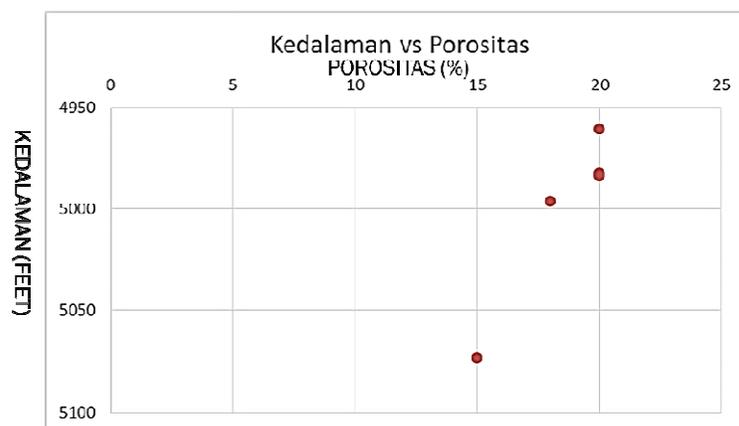
Resume Diagenesis

Berdasarkan hasil pengamatan sampel, dapat diinformasikan bahwa pada sumur ini telah mengalami proses diagenesis, hal ini ditunjukkan dari kemunculan produk diagenesis berupa pelarutan, kompaksi dan sementasi. Hasil produk pelarutan teramati pada sampel-sampel pengamatan berupa mineral/butiran yang telah berinteraksi dengan fluida, hal ini mengakibatkan berkembangnya porositas sekunder, dapat dilihat dari hubungan antar butir yang mengalami pelarutan dan terdapat juga porositas yang berkembang pada matriks yaitu berupa pelarutan matriks. Dalam hal ini, teramati juga pada sampel pengamatan terdapat produk sementasi dan rekristalisasi akibat berlanjutnya pelarutan seiring dengan bertambahnya proses diagenesis terbentuklah sementasi berupa kalsit *pore lining* dan *pore filling*, *quartz overgrowth*. Di satu sisi yang lain terdapat juga mineral-mineral mika yang mengalami pembengkokan, hal ini juga dapat menandakan proses diagenesis. Proses diagenesis juga teramati dengan berubahnya mineral feldspar menjadi mineral lempung.

Dari pengamatan yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa fase diagenesis yang telah dilewati batuan ini adalah fase eodiagenesis dan mesodiagenesis.

Kualitas Batuan Reservoir

Kualitas suatu reservoir bergantung pada nilai porositas dan permeabilitas batuan tersebut. Dari pengamatan petrografi yang dilakukan, didapatkan porositas dengan rentang nilai antara 10%-20% (sedang sampai baik). Porositas yang terdapat pada sayatan tersebut berupa porositas primer (interpartikel) dan porositas sekunder (hasil pelarutan). Dalam porositas tersebut terdapat jejak hidrokarbon yang masih tersisa di dalam pori. Dilihat dari teksturnya yang memiliki kemas tertutup dengan pemilahan butir sedang sampai baik, dapat diperkirakan permeabilitas dari batuan tersebut baik dikarenakan sedikitnya matrik yang menghambat fluida untuk mengalir. Berkembangnya porositas sekunder sebagai produk diagenesis, maka dapat disimpulkan bahwa tahapan diagenesis sangatlah berpengaruh terhadap kualitas batuan reservoir.



Gambar 13. Plot silang Kedalaman vs Porositas yang menunjukkan bahwa seiring bertambahnya kedalaman maka kualitas batuan reservoir semakin berkurang.

Kesimpulan

Hadirnya semen *quartz overgrowth* dan semen kalsit yang hadir *pore filling* dan *pore lining* menunjukkan proses diagenesis berupa rekristalisasi dan sementasi. Kehadiran mineral mika yang bengkok dan kontak butir tipe *concavo-convex* dan *suture* menjadi penanda kompaksi lanjut. Pelarutan pada matriks, semen dan butiran pada sampel sayatan batuan lapangan ini menunjukkan bahwa batuan telah sampai pada tahapan mesodiagenesis.

Plot silang hubungan porositas terhadap pertambahan kedalaman (dalam feet) menunjukkan distribusi linear, dimana seiring bertambahnya kedalaman porositas akan semakin berkurang. Maka dapat disimpulkan bahwa proses diagenesis sangat berpengaruh terhadap kualitas batuan reservoir di daerah penelitian.

Daftar Pustaka

- [1] Boggs, Jr., 1987, *Principles of Sedimentary and Stratigraphy*, Merrill Publishing Company, USA
- [2] Burley, S.D. and R.H. Worden, 2003, *Sandstone Diagenesis: Recent and Ancient*, Blackwell, Malden.
- [3] Conoco Energy Ventures Inc, Inpex Natuna Ltd, 2001, *Nila Block Bid Document* (tidak dipublikasikan).
- [4] Daly, M.X., Cooper, M.A., Wilson, I., Smith, D.G. and Hooper, B.G.D., 1991, Cenozoic Plate tectonics and basinevolution in Indonesia, *Marine and Petroleum Geology*, volume 8.
- [5] Fahman, M., Nur, F., Djalal, J. S., Subagio, Kasjati, 1991, An Overview of The Anoa Field Development, *Indonesian Pet. Assoc., 20th Annual Convention Proceeding*.
- [6] Ginger, D.C., Ardjakusumah, W.O., Hedley, R.J. and Potheary, J., 1993, Inversion History of the West Natuna Basin: Examples from the Cumi-cumi PSC, *Indonesian Pet. Assoc., 22nd Annual Convention Proceeding*.
- [7] PERTAMINA dan BEICIP FRANLAB, 1992, Global Geodynamics, Basin Classification and Exploration Play-types in Indonesia, Volume I, *West Natuna Basin*, PERTAMINA, Jakarta.
- [8] Pertamina BPPKA, 1996, Petroleum Geology of Indonesian Basins.
- [9] Shaw, R.D. (1997), Some implications of Eurasian and Indo-Australian plate collision on the petroleum potential of Tertiary, intra-cratonic basins of Southeast Asia, *Proceedings of the Petroleum Systems of SE Asia and Australasia Conference*.
- [10] Sturrock, S., Minarwan, Hadiyati, Long, D., 2001, West Natuna Block "A": Regional Prospectivity Review, Laporan Final Internal Premier Oil (tidak dipublikasikan).
- [11] Tapponier P., G. Peltzer, A.Y. Le Dain and R. Armijo, 1982, Propagating Extrusion Tectonics in Asia: New Insights from Simple Experiment with Plasticine, *Geology*, v. 10.
- [12] Tucker, E.M., 2001, *Sedimentary Petrology An Introduction to the Origin of Sedimentary Rocks 3rd Ed*, Blackwell Science, United Kingdom

- [13] Williams, H., Turner, F.J., Gilbert, C.M., 1982, *An Introduction to the Study of Rocks in Thin Sections 2nd Ed*, W.H. Freeman Company, USA
- [14] Wongsosantiko, A and Wirojudo, G.K., 1984, Tertiary Tectonic Evolution and Related Hydrocarbon Potential in the Natuna Area, *Indonesian Pet. Assoc., 13th Annual Convention Proceeding*.