

Pengaruh Diagenesis Terhadap Porositas Batupasir Formasi Cinambo di Daerah Cengal dan Sekitarnya, Kabupaten Majalengka, Jawa Barat

*Jonathan Angkawijaya Sunarta, Budhi Setiawan, Yogie Zulkurnia Rochmana**

Program Studi Teknik Geologi, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya

**Email: yogie.zrochmana@ft.unsri.ac.id*

SARI

Mekanisme arus turbidit saat terbentuknya Formasi Cinambo menghasilkan pengendapan batupasir dengan karakteristik yang khas. Pada daerah Cengal, penelitian terkait diagenesis batupasir Formasi Cinambo belum dilakukan secara komprehensif, sehingga penelitian ini bertujuan untuk menganalisis diagenesis dan pengaruhnya terhadap porositas batupasir Formasi Cinambo guna mengetahui daerah yang memiliki potensi sebagai reservoir. Metode yang digunakan adalah analisis laboratorium yang meliputi analisis petrografi terhadap sepuluh sampel batupasir dan analisis studio yang terdiri atas analisis diagenesis dan analisis porositas batupasir. Hasil analisis diagenesis menunjukkan batupasir Formasi Cinambo mengalami fase kompaksi kuat, pelarutan, sementasi oleh mineral silika dan mineral karbonat; serta fase authigenesis pada mineral feldspar, kuarsa, dan mineral lempung. Nilai porositas pada daerah penelitian memiliki klasifikasi istimewa dengan persentase antara 28% hingga 45%. Hasil porositas tersebut diakibatkan oleh faktor sortasi batuan *well sorted*, selain itu terjadi fase pelarutan sehingga meningkatkan porositas primer dengan jenis *intergranular porosity*. Penelitian ini diharapkan memberikan pemahaman bahwa batupasir Formasi Cinambo mengalami fase diagenesis yang berpengaruh terhadap kualitas porositas sebagai reservoir fluida pada Daerah Cengal dan sekitarnya.

Kata kunci: Batupasir; Diagenesis; Formasi Cinambo; Porositas; Reservoir.

How to Cite: Sunarta, J.A., Setiawan, B., Rochmana, Y.Z. 2024. Pengaruh Diagenesis Terhadap Porositas Batupasir Formasi Cinambo di Daerah Cengal dan Sekitarnya, Kabupaten Majalengka, Jawa Barat. Jurnal Geomine, 12 (1): 10 – 25.

Published By:

Fakultas Teknologi Industri
Universitas Muslim Indonesia

Address:

Jl. Urip Sumoharjo Km. 05
Makassar, Sulawesi Selatan

Email:

geomine@umi.ac.id

Article History:

Submit December 20, 2023
Received in from January 30 2024
Accepted Maret 28, 2024
Available online

Licensed By:

[Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License.](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)



ABSTRACT

The turbidite current mechanism during the formation of the Cinambo Formation resulted in the deposition of sandstones with distinctive characteristics. In the Cengal area, research related to the diagenesis of the Cinambo Formation sandstones has not been carried out comprehensively, so this study aims to analyze diagenesis and its effect on the porosity of the Cinambo Formation sandstones in order to determine areas that have potential as reservoirs. The method used is laboratory analysis which includes petrographic analysis of ten sandstone

samples and studio analysis consisting of diagenesis analysis and sandstone porosity analysis. The results of the diagenesis analysis show that the sandstones of the Cinambo Formation experienced the phases of strong compaction, dissolution, cementation by silica minerals and carbonate minerals; as well as the authigenesis phase in feldspar, quartz, and clay minerals. The porosity value in the study area has a special classification with a percentage between 28% and 45%. The porosity results are due to the well sorted rock sorting factor, in addition to the dissolution phase that increases the primary porosity with intergranular porosity. This research is expected to provide an understanding that the Cinambo Formation sandstones experience a diagenesis phase that affects the quality of porosity as a fluid reservoir in the Cengal and surrounding areas.

Keyword: Sandstone; Diagenesis; Cinambo Formation; Porosity; Reservoir.

PENDAHULUAN

Diagenesis adalah serangkaian proses fisik dan kimia yang terjadi pada batuan sedimen sebelum mencapai ambang batas metamorfisme (Collinson, 2005; Snyder and Waldron, 2021). Proses fisik dalam diagenesis mencakup pengurangan cairan yang terperangkap dan pepadatan, serta pembentukan rekahan yang dapat meningkatkan permeabilitas dan mengurangi porositas, yang dikenal sebagai kompaksi. Di sisi lain, proses kimia melibatkan peningkatan porositas melalui sementasi mineral pada batuan (Gibran *et al.*, 2022). Jenis batuan paling umum dijumpai adalah batuan sedimen, dengan sekitar tiga perempat dari seluruh batuan di permukaan bumi terdiri dari batuan sedimen (Sam, 2006; Bjørlykke, 2014). Potensi reservoir batupasir sebagian besar ditentukan oleh komposisi dan lingkungan pengendapan (Khan *et al.*, 2024).

Porositas batuan adalah ukuran suatu material terhadap ruang kosong atau pori pada material tersebut sesuai dengan karakteristiknya. Karakteristik tersebut menggambarkan jumlah rongga atau celah yang terdapat di lapisan batuan (Arbol and Bahar, 2021). Ada dua jenis proses geologi yang berkontribusi pada porositas batu pasir, diantaranya proses yang terjadi selama pengendapan dan proses yang terjadi setelah pengendapan. Proses-proses ini berdampak pada proses sedimentasi. Perubahan porositas setelah proses pengendapan dipengaruhi oleh faktor fisik dan kimia, yang bergantung pada variabel seperti suhu, tekanan efektif, dan waktu. (Bloch, 1991; Bello *et al.*, 2023). Porositas absolut merupakan volume total, sedangkan porositas efektif merupakan Rasio dari dua ruang pori yang terhubung (Rafdy *et al.*, 2018). Faktor-faktor yang paling penting dalam menentukan porositas meliputi umur, jenis mineral (kandungan butiran kuarsa), tingkat sortasi, dan kedalaman maksimum terendam (Scherer, 1987; Kassem *et al.*, 2021).

Secara geografis, Desa Cengal yang terletak di Kecamatan Maja, Kabupaten Majalengka terletak di Sub Cekungan Majalengka, dimana bagian dari Cekungan Bogor yang terletak di Pulau Jawa. Cekungan Bogor terbentuk utamanya di bawah lingkungan laut daripada lingkungan darat (Rachman *et al.*, 2021). Sub Cekungan Majalengka yang termasuk dalam cekungan busur belakang (*back arc basin*) terdiri dari lapisan batuan dengan beragam usia mulai dari Pra Tersier hingga Kuarter (Van Bemmelen, 1949; Sudithio *et al.*, 2017). Cekungan sedimen adalah ruang yang digunakan untuk mengakumulasi sedimen, yang bisa terjadi karena naiknya permukaan laut, penurunan permukaan laut, atau keduanya (Catuneanu, 2020). Sebagian besar cekungan sedimen terbentuk melalui kontraksi dan pembebanan litosfer atau ekspansi kerak dan kemudian mengalami pendinginan. Kedua proses ini diatur terutama oleh aktivitas tektonik (Stewart, 2020).

Daerah penelitian terdiri dari dua formasi batuan, yaitu Formasi Cinambo Bagian Bawah (*lower*) dan Formasi Cinambo Bagian Atas (*upper*) (Djuri, 1995). Formasi Cinambo terletak di Sub Cekungan Majalengka dan merupakan formasi paling tua pada cekungan ini.

Formasi Cinambo memiliki umur Miosen Awal yang ditandai oleh endapan klastik laut dalam. Litologi dari formasi ini mencakup batupasir dan batuserpih, dengan beberapa area menunjukkan adanya perselingan antara batupasir dan batuserpih. Pada Kala Miosen Akhir terjadi aktivitas tektonik berupa rezim kompresional sehingga membentuk jalur lipatan yang disebabkan oleh gaya kompresional konvergen antara dua lempeng yang bergerak saling berdekatan (Sunarta *et al.*, 2023). Berdasarkan klasifikasi Pickering & Hiscott (2015), Formasi Cinambo terdiri dari sepuluh litofasies berdasarkan pengamatan litologi, tekstur, ketebalan, dan struktur sedimen. Formasi Cinambo dianggap terendapkan dalam lingkungan kipas laut bagian bawah (*lower fan*) dan kipas laut bagian tengah (*middle fan*) dalam sistem kipas laut dalam (Mutti and Lucchi, 1978; Årlebrand *et al.*, 2021) (Gambar 1).

Umur		Lithostratigrafi			
Kala		Simbol	Formasi	Litologi	Ling. Pengendapan
Pleistosen		Qvb	Gunungapi Tua Breksi	Endapan Breksi Gunungapi Monomik	Darat
		Qvu	Hasil Gunungapi Tua Tak Teruraikan	Breksi Gunungapi Polimik	Darat
Pliosen		Tpk			
			Formasi Kaliwangu	Batulempung, Batupasir Gampingan	Laut Dangkal
Miosen	Akhir				
				Batupasir, Batupasir Tufan, Batulempung, Konglomerat	Laut Dangkal
	Tengah	Ha	Formasi Halang		
				Breksi, Tuff, Batulempung	Laut Dangkal
	Awal				
				Batuserpih, Batupasir	Laut Dangkal
			Formasi Cinambo		
				Batupasir, Batuserpih	Laut Dalam

Keterangan:

 Daerah Penelitian

Gambar 1. Stratigrafi Lokal Daerah Penelitian

Pada Formasi Subang di Cekungan Bogor terdapat proses diagenesis yang didominasi oleh kompaksi, diikuti oleh sementasi oleh mineral kalsit, mineral lempung, dan alterasi feldspar, dan kemudian pelarutan butiran (Nasution *et al.*, 2022). Penelitian lain mengenai diagenesis pada Cekungan Bogor juga mencakup Formasi Jatiluhur, dimana proses diagenesis terdiri dari kompaksi, diikuti oleh sementasi, serta pelarutan mineral kuarsa, feldspar, dan mika, dan pembentukan mineral autigenik. Pada batupasir Formasi Jatiluhur mempunyai porositas primer dengan rata-rata porositas 10,4% yang ditemukan antara 3 – 23% (Aulia and Aditiyo, 2021). Namun, penelitian mengenai pengaruh diagenesis terhadap porositas batupasir pada Formasi Cinambo belum dilakukan secara komprehensif. Oleh karena itu, hasil penelitian ini diharapkan sebagai wawasan mengenai proses diagenesis yang terjadi serta hubungannya dengan porositas batuan pada batupasir Formasi Cinambo sebagai potensi reservoir yang signifikan.

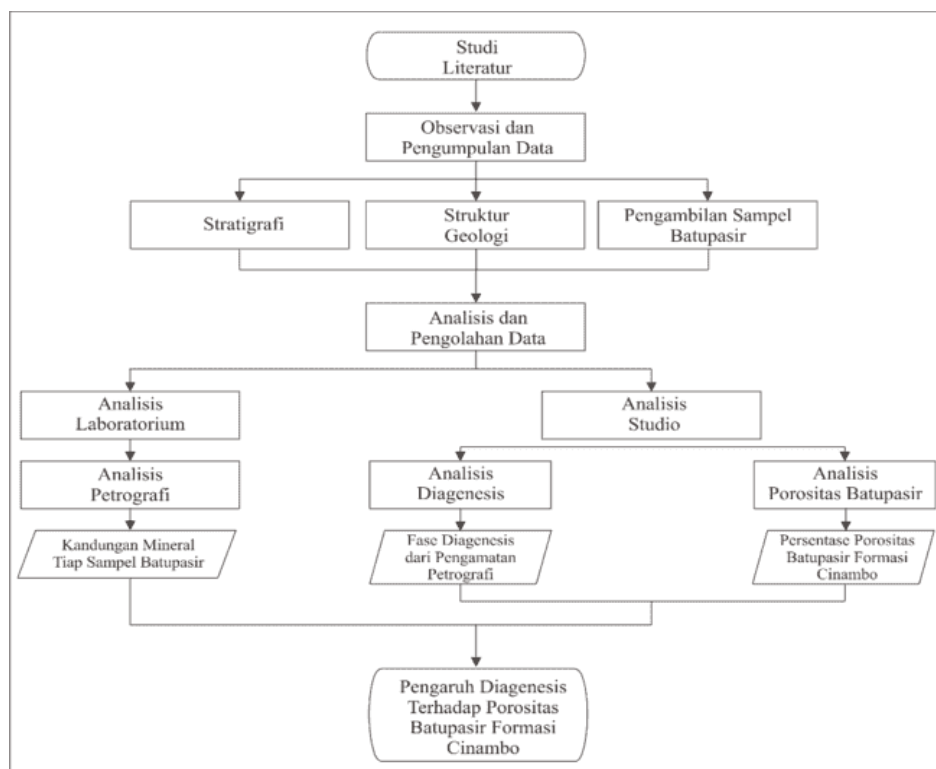
METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan pada penelitian ini mencakup analisis secara laboratorium dan analisis studio. Analisis laboratorium berupa analisis petrografi terhadap sepuluh sampel batupasir yang telah diambil dari data di lapangan dan kemudian disayat. Analisis studio berupa analisis diagenesis dan analisis porositas batupasir Formasi Cinambo (Gambar 2).

Analisis laboratorium berupa analisis petrografi terhadap sepuluh sampel batupasir menggunakan mikroskop polarisasi dengan perbesaran 40x. Analisis petrografi bertujuan untuk mengetahui karakteristik serta mineral pada batuan berukuran mikro (Gibran *et al.*, 2022). Untuk analisis petrografi digunakan klasifikasi Pettijohn (1975) pada batupasir Formasi Cinambo yang diidentifikasi berdasarkan persentase mineral kuarsa (Q), litik (L), dan feldspar (F). Hasil analisis dari sayatan batupasir meliputi ukuran butir mineral, karakteristik komposisi mineral penyusun batuan, sortasi, derajat pemilahan, dan kemas (Gambar 2).

Analisis studio berupa analisis diagenesis yang terjadi pada batupasir Formasi Cinambo. Analisis diagenesis pada batupasir Formasi Cinambo menggunakan klasifikasi Worden and Burley (2003) untuk menentukan tahapan diagenesis yang terjadi pada batupasir Formasi Cinambo. Aspek yang diperhatikan saat analisis diagenesis meliputi pola interaksi mineral, pelarutan mineral, kehadiran semen, dan pembentukan mineral autigenik. Fase diagenesis yang dianalisis mulai dari fase kompaksi yang berkembang dengan melihat kontak antar butir sedimen pada sampel batupasir (Adepehin, Bankole and Arifin, 2022). Fase pelarutan dengan melihat mineral yang mengalami penghancuran dan terlarut pada sampel tersebut. Fase sementasi dengan melihat semen hasil dari proses pelarutan pada kenampakan mikroskopis. Fase authigenesis dengan melihat mineral primer yang mengalami penggantian akibat proses pelapukan atau presipitasi.

Analisis porositas batuan bertujuan untuk mendapatkan persentase porositas batuan. Dalam menentukan kualitas porositas batupasir Formasi Cinambo digunakan klasifikasi porositas menurut Koesoemadinata (1980). Setelah semua data diperoleh, maka dilakukan integrasi antara hasil analisis porositas dengan hasil analisis diagenesis pada batupasir Formasi Cinambo (Gambar 2).



Gambar 2. Diagram Alir Metode Penelitian

HASIL PENELITIAN

Analisis Petrografi

Pada batupasir Formasi Cinambo dilakukan perhitungan komposisi mineral agar dapat dianalisis secara petrografi untuk menggambarkan fragmen, matriks, dan semen dalam batupasir tersebut. Dalam proses deskripsi mineral menggunakan klasifikasi Pettijohn (1975), sehingga didapatkan jenis batupasir berdasarkan hasil persentase komposisi fragmen kuarsa 8% - 39%, feldspar 8% - 38%, litik 2% - 23%. Matriks dengan rentang 8% - 17% dan semen 5% - 31%. Pada daerah penelitian, terdapat tiga jenis batupasir, diantaranya *arkosic wacke*, *lithic arenite*, dan *arkosic arenite* dengan karakteristik kandungan mineralnya yang khas (Tabel 1).

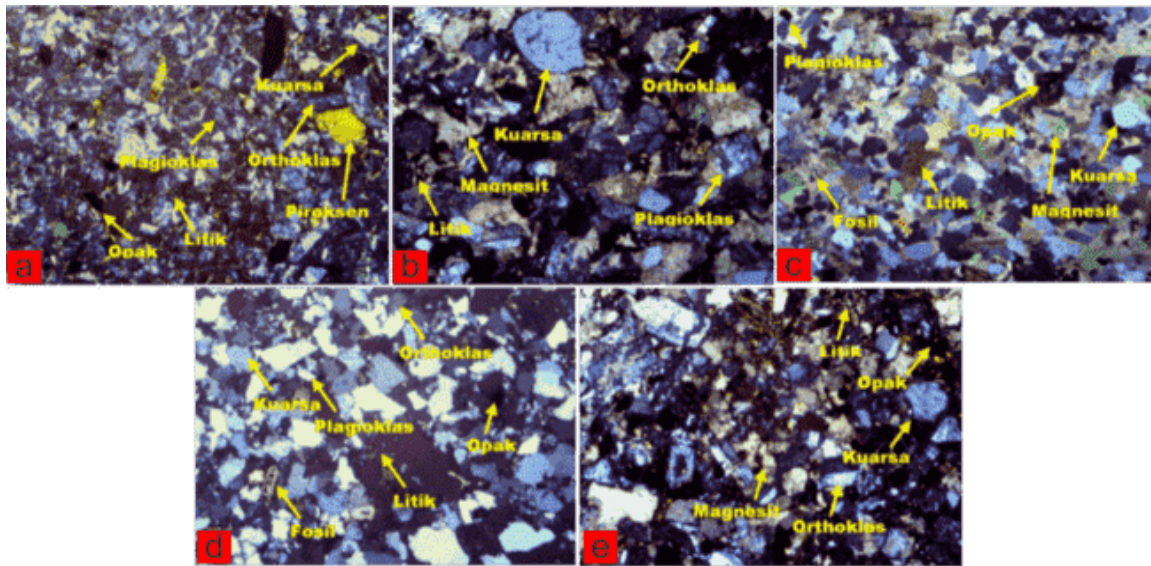
Tabel 1. Komposisi Mineral Penyusun Batupasir Formasi Cinambo

No. Sampel	Fragmen (%)							Matriks (%)				Semen (%)		Nama Batuan (Pettijohn, 1975)
	Q	F	P	O	L	Fs	M	Lm	Ob	Sm	S	S	C	
01Tomcl	19,3	38	4	4	8	-	-	14	-	-	-	13	-	<i>Arkosic Arenite</i>
02Tomcl	39	12	-	10,5	5,5	6	-	16	-	-	-	11	-	<i>Arkosic Wacke</i>
03Tomcl	13,5	23	-	2,5	14,5	-	19	7,5	-	-	7	-	13	<i>Arkosic Arenite</i>
05Tomcl	20	22	-	9	2	-	-	14	2	-	-	31	-	<i>Arkosic Wacke</i>
08Tomcl	39	15	-	6	10	-	-	17	-	-	-	13	-	<i>Arkosic Wacke</i>
13Tomcl	34	20	-	2	11	5	-	-	-	14	-	15	-	<i>Arkosic Arenite</i>
18Tomcl	22	8	-	-	17	23	7	8	-	-	-	-	15	<i>Lithic Arenite</i>
19Tomcl	12	29	-	5	9	4	18	10	-	-	-	13	-	<i>Arkosic Arenite</i>
20Tomcl	8	38	-	-	17	-	22	-	-	-	10	-	5	<i>Arkosic Arenite</i>
36Tomcl	9	22	-	6	23	-	26	4	-	-	4	-	10	<i>Lithic Arenite</i>

Arkosic Arenite

Menurut klasifikasi Pettijohn (1975), batupasir klastik yang termasuk dalam jenis *arkosic arenite* adalah batupasir yang memiliki persentase komposisi matriks batuan di bawah 15%, dengan kandungan mineral feldspar yang lebih tinggi daripada kandungan kuarsa dan litiknya. Pada area penelitian, batupasir dengan jenis *arkosic arenite* ditemukan di empat lokasi pengamatan, yaitu di LP 1, LP 3, LP 6, LP 8, dan LP 9 (Gambar 3).

Pada Lokasi Pengamatan 1 dengan kode sampel 01Tomcl memiliki ciri-ciri berwarna putih kecoklatan pada PPL. Komposisi fragmen terdiri dari kuarsa (19%), feldspar (38%), litik (8%), piroksen (4%), dan opak (4%). Matriks terdiri dari mineral silika (11%), sedangkan semen terdiri dari mineral lempung (16%). Terdapat tanda-tanda alterasi pada batuan ini, terutama pada feldspar yang sebagian besar telah mengalami alterasi menjadi mineral lempung.



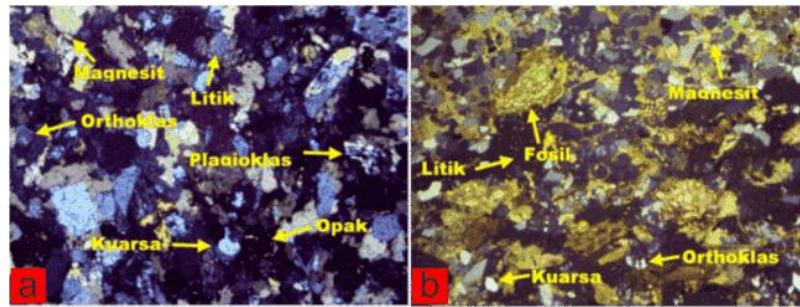
Gambar 3. Sayatan Tipis *arkosic arenite* pada kenampakan XPL dengan perbesaran 40x: (a) 01Tomcl, (b) 03Tomcl, (c) 13Tomcl, (d) 19Tomcl, dan (e) 20Tomcl

Pada Lokasi Pengamatan 3 dengan kode sampel 03Tomcl memiliki ciri-ciri berwarna krem kecoklatan pada PPL. Komposisi fragmen penyusun terdiri dari kuarsa (13,5%), magnesit (19%), feldspar (23%), litik (14,5%), dan opak (3,5%). Matriks terdiri dari mineral silika (12%), sedangkan semen terdiri dari smektit (14,5%). Selanjutnya pada Lokasi Pengamatan 6 dengan kode sampel 13Tomcl memiliki karakteristik berwarna krem kecoklatan pada PPL. Fragmen penyusun terdiri dari kuarsa (34%), feldspar (20%), litik (11%), fosil (4%), dan opak (2%). Matriks terdiri dari mineral silika (14%), sedangkan semen terdiri dari smektit (15%). Sementara itu pada Lokasi Pengamatan 8 dengan kode sampel 19Tomcl memiliki ciri-ciri berwarna krem kecoklatan pada PPL. Komposisi fragmen penyusun terdiri dari kuarsa (12%), feldspar (29%), litik (9%), fosil (4%), magnesit (18%), dan opak (5%). Matriks terdiri dari mineral silika (13%), sedangkan semen terdiri dari mineral lempung (10%). Setelah itu pada Lokasi Pengamatan 9 dengan kode sampel 20Tomcl memiliki ciri-ciri berwarna kecoklatan pada PPL. Komposisi fragmen penyusun terdiri dari kuarsa (8%), feldspar (38%), litik (17%), dan magnesit (22%). Matriks terdiri dari mineral silika (10%), sedangkan semen mineral lempung (5%).

Lithic Arenite

Batupasir klastik yang memiliki persentase komposisi matriks batuan di bawah 15% dengan kandungan mineral litik yang lebih tinggi daripada kandungan kuarsa dan feldsparnya diklasifikasikan sebagai *lithic arenite* menurut klasifikasi Pettijohn (1975). Dalam daerah penelitian, batupasir dengan jenis *lithic arenite* ditemukan di dua lokasi pengamatan, yakni di LP 7 dan LP 10.

Batupasir pada Lokasi Pengamatan 7 dengan kode sampel 18Tomcl memiliki ciri-ciri berwarna putih kecoklatan pada PPL. Komposisi fragmen penyusunnya terdiri dari kuarsa (22%), feldspar (8%), litik (17%), fosil (23%), dan magnesit (7%). Matriks terdiri dari mineral silika (8%), sementara semen terdiri dari smektit (15%). Lalu pada Lokasi Pengamatan 10, dengan kode sampel 36Tomcl memiliki ciri-ciri berwarna putih pada PPL. Fragmen penyusunnya terdiri dari kuarsa (9%), feldspar (22%), litik (23%), opak (6%), dan magnesit (26%). Matriks terdiri dari mineral silika (10%), sedangkan semen terdiri dari mineral lempung (4%) (Gambar 4).

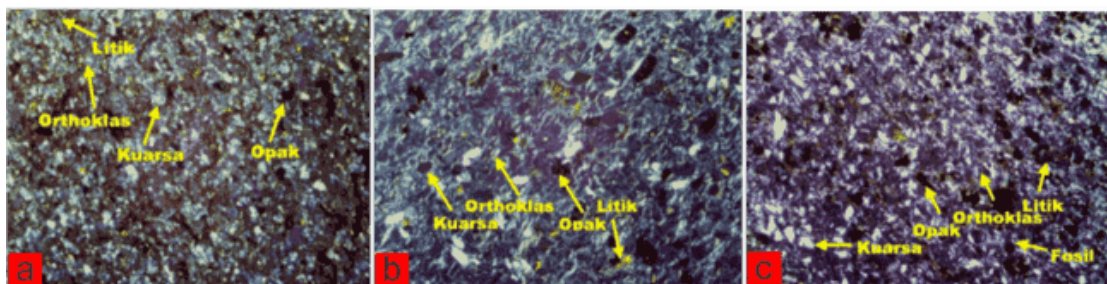


Gambar 4. Sayatan Tipis *lithic arenite* pada kenampakan XPL dengan perbesaran 40x: (a) LP 7 kode sampel 18Tomcl dan (b) LP 10 kode sampel 36Tomcl

Arkosic Wacke

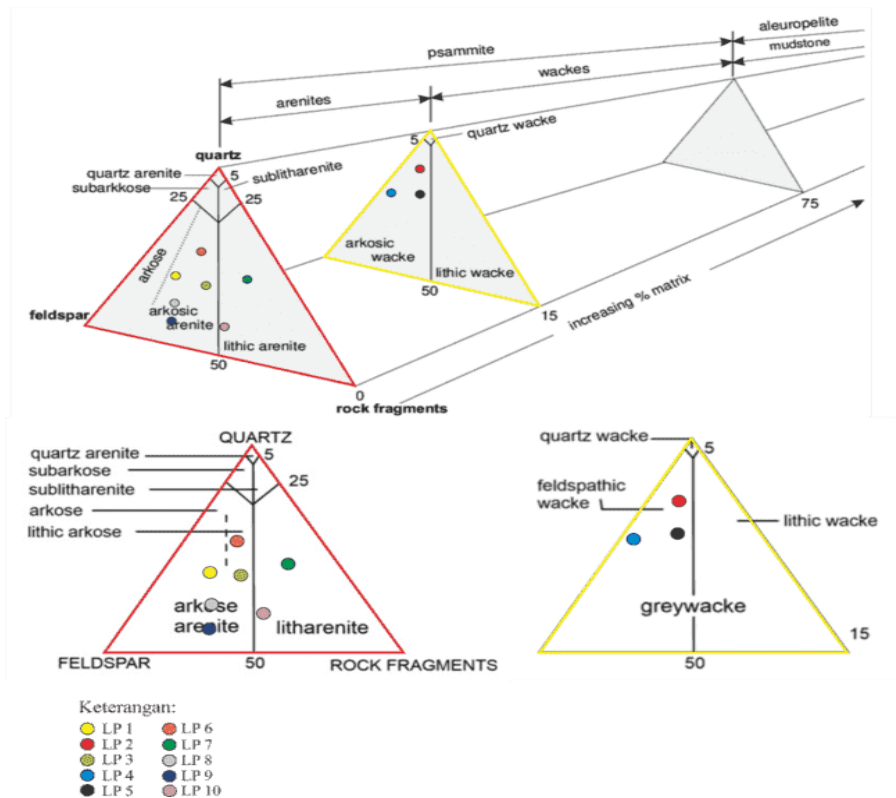
Berdasarkan klasifikasi Pettijohn (1975), batupasir klastik berjenis *arkosic wacke* merupakan batupasir yang memiliki jumlah komposisi matriks batuan di atas 15% dengan kandungan mineral litik yang lebih banyak dibanding kandungan kuarsa dan feldsparnya. Pada daerah penelitian, batupasir dengan jenis *arkosic wacke* terdapat pada tiga lokasi pengamatan, yaitu pada LP 2, LP 4, dan LP 5 (Gambar 5).

Litologi batupasir di Lokasi Pengamatan 2 dengan kode 02Tomcl memiliki ciri-ciri berwarna putih kecoklatan pada PPL. Fragmen penyusunnya terdiri dari kuarsa (39%), feldspar (12%), litik (5,5%), fosil (6%), dan opak (10,5%). Matriks terdiri dari mineral silika (17%), sedangkan semen terdiri dari mineral lempung (10%). Lalu di Lokasi Pengamatan 4 dengan kode sampel 05Tomcl memiliki karakteristik berwarna putih kecoklatan pada PPL. Komposisi fragmen penyusunnya terdiri dari kuarsa (20%), feldspar (22%), litik (2%), dan opak (9%). Matriks terdiri dari mineral silika (37%) dan oksida besi (2%), sedangkan semen terdiri dari mineral lempung (8%). Selanjutnya pada Lokasi Pengamatan 5 dengan kode sampel 08Tomcl memiliki karakteristik berwarna putih kecoklatan pada PPL. Komposisi fragmen penyusunnya terdiri dari kuarsa (39%), feldspar (15%), litik (10%), dan opak (6%). Matriks terdiri dari mineral silika (17%), sedangkan semen terdiri dari mineral lempung (13%).



Gambar 5. Sayatan Tipis *arkosic wacke* pada kenampakan XPL dengan perbesaran 40x: (a) LP 2 kode sampel 02Tomcl, (b) LP 4 kode sampel 05Tomcl, dan (c) LP 5 kode sampel 08Tomcl

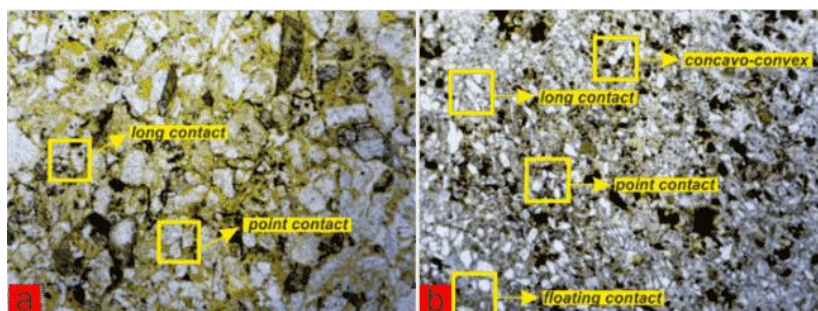
Dalam melakukan penamaan batupasir, digunakan klasifikasi Pettijohn (1975) sebagai penamaan batuan yang didasarkan pada *plotting* antara garis yang menggambarkan persentase total komposisi mineral kuarsa (Q), feldspar (F), dan litik (L). Terdapat dua segitiga yang digunakan untuk mengklasifikasikan batuan sedimen klastik. Segitiga pertama digunakan jika jumlah matriks kurang dari 15% dan kandungan *arenites* lebih tinggi, Segitiga kedua digunakan jika jumlah matriks melebihi 15% dan kandungan *wacke* lebih tinggi (Gambar 6).

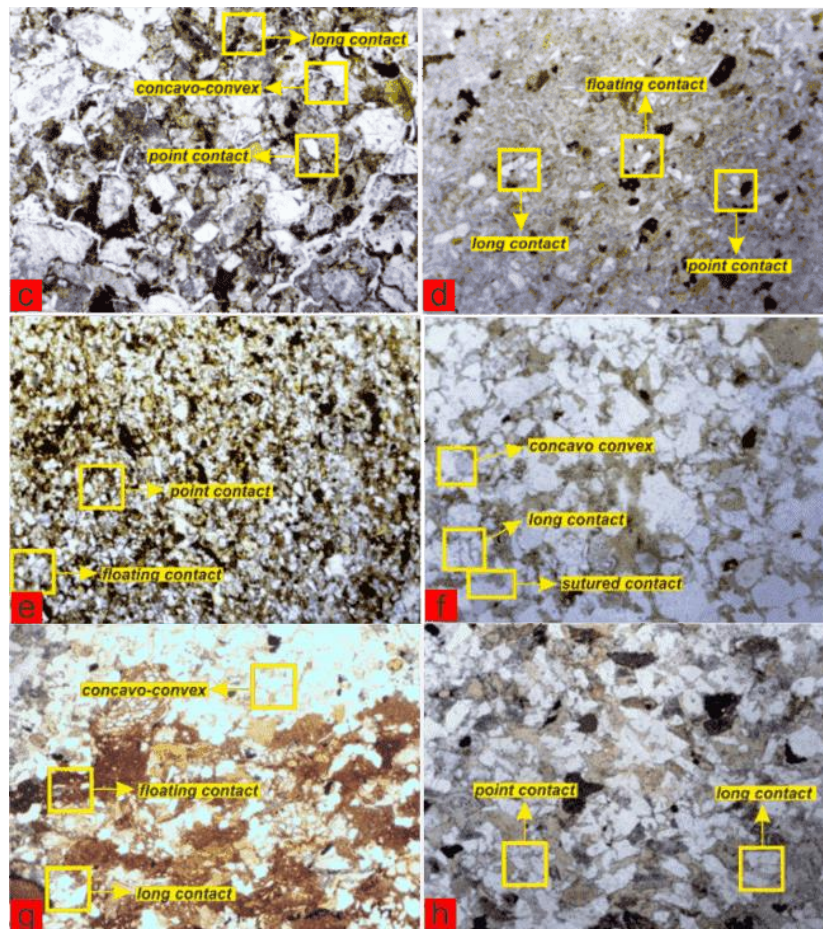


Gambar 6. Plotting Sampel Petrografi Pada Klasifikasi Pettijohn (1975)

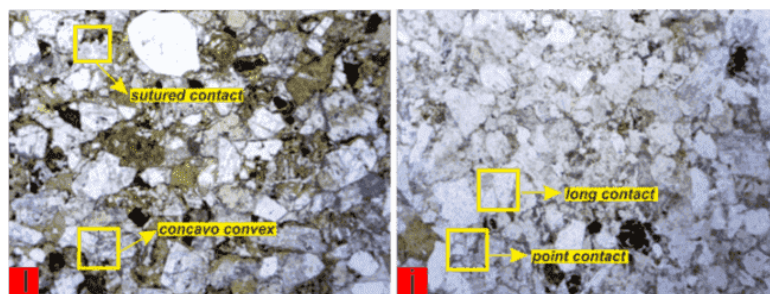
Fase Kompaksi

Proses kompaksi ditandai dengan perubahan butiran material sedimen yang bisa saling berdekatan atau bersentuhan tergantung pada tingkat pemadatan yang terjadi. Kontak antar sedimen pada batupasir Formasi Cinambo meliputi *floating contact* (Gambar 7b, 7d, 7e, dan 7g), *long contact* (Gambar 7a, 7b, 7c, 7d, 7f, 7g, 7h, dan Gambar 8j), *point contact* (Gambar 7a, 7b, 7c, 7d, 7e, 7h, dan Gambar 8j), *concavo-convex contact* (Gambar 7b, 7c, 7f, 7g, dan Gambar 8i), dan *sutured contact* (Gambar 7f dan Gambar 8i). Intensitas fase kompaksi dapat dilihat dari keterdapatan kontak antar butir pada sampel di daerah penelitian. Apabila kontak antar butir sedimen semakin kuat, maka butir sedimen tersebut akan saling menempel dan menggerus dan mempengaruhi porositas pada batuan tersebut. Pada seluruh sampel di lokasi penelitian, terdapat kontak antar butir sedimen yang menunjukkan seberapa kuat proses kompaksi yang terjadi pada batuan tersebut (Gambar 7 dan Gambar 8).





Gambar 7. Kenampakan Hubungan Antar Butir dengan perbesaran 40x pada Lokasi Pengamatan (LP): (a) 1, (b) 2, (c) 3, (d) 4, (e) 5, (f) 6, (g) 7, dan (h) 8

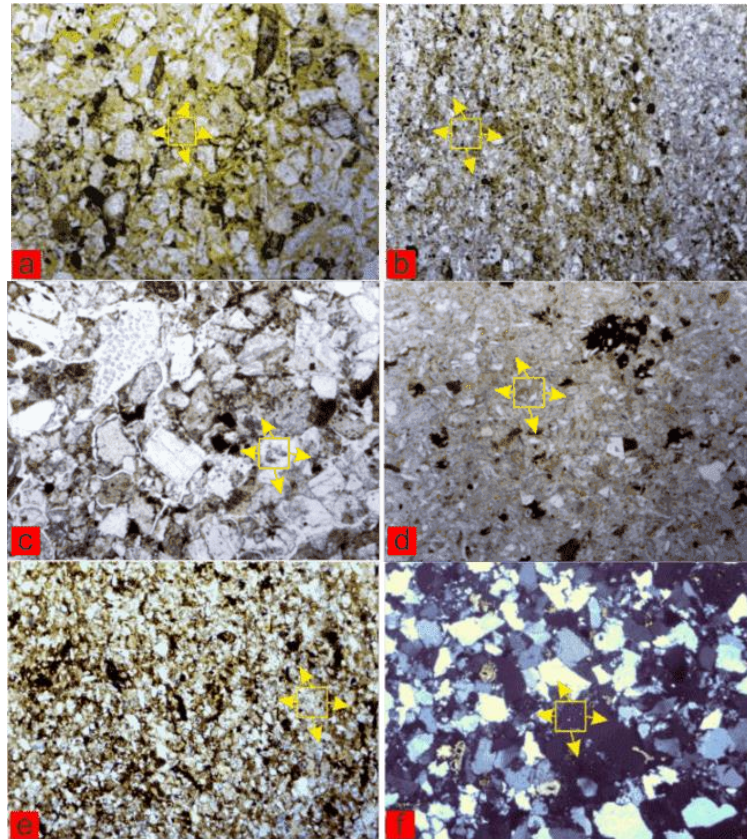


Gambar 8. Kenampakan Hubungan Antar Butir dengan perbesaran 40x pada Lokasi Pengamatan (LP): (i) 9 dan (j) 10

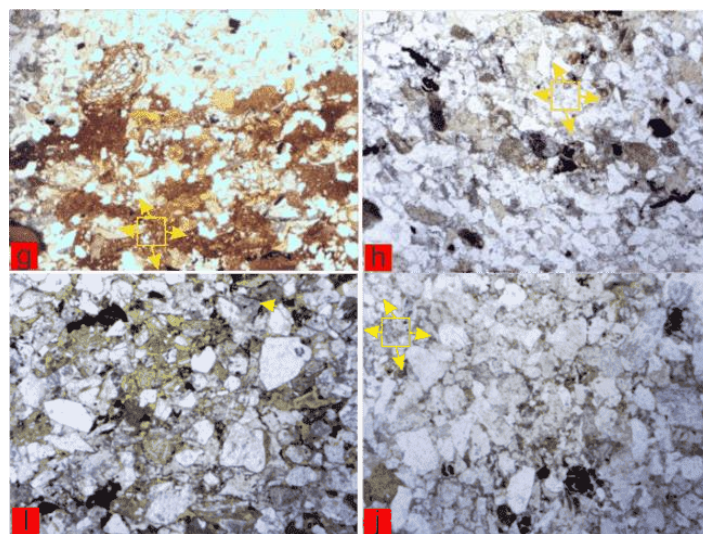
Fase Pelarutan

Fase pelarutan adalah ketika mineral mengalami pergerakan sebagian atau seluruhnya melalui fluida dalam pori-pori batuan. Hal ini dapat terjadi karena adanya cairan meteorik yang berinteraksi dengan mineral lempung di area deposisi (Gibran *et al.*, 2022). Pelarutan ini mengakibatkan perubahan bentuk fragmen mineral pada sampel batupasir Formasi Cinambo yang tidak lengkap karena proses pelarutan oleh fluida, yang pada gilirannya mengurangi porositas batuan. Pada LP 1 (Gambar 9a), LP 2 (Gambar 9b), LP 3 (Gambar 9c), LP 4 (Gambar 9d), LP 5 (Gambar 9e), LP 8 (Gambar 10i), dan LP 10 (Gambar 10j), terdapat pelarutan oleh mineral mikrokuarsa. Sementara itu, pada LP 6 (Gambar 9f), LP 7 (Gambar 10g), dan LP 9 (Gambar 10i), terdapat pelarutan oleh mineral litik yang menyebabkan terbentuknya porositas primer bertipe intergranular. Proses pelarutan

batupasir Formasi Cinambo mengalami penyebaran terhadap fragmen yang mengalami penghancuran yang ditunjukkan dengan arah panah pada gambar (Gambar 9 dan Gambar 10).



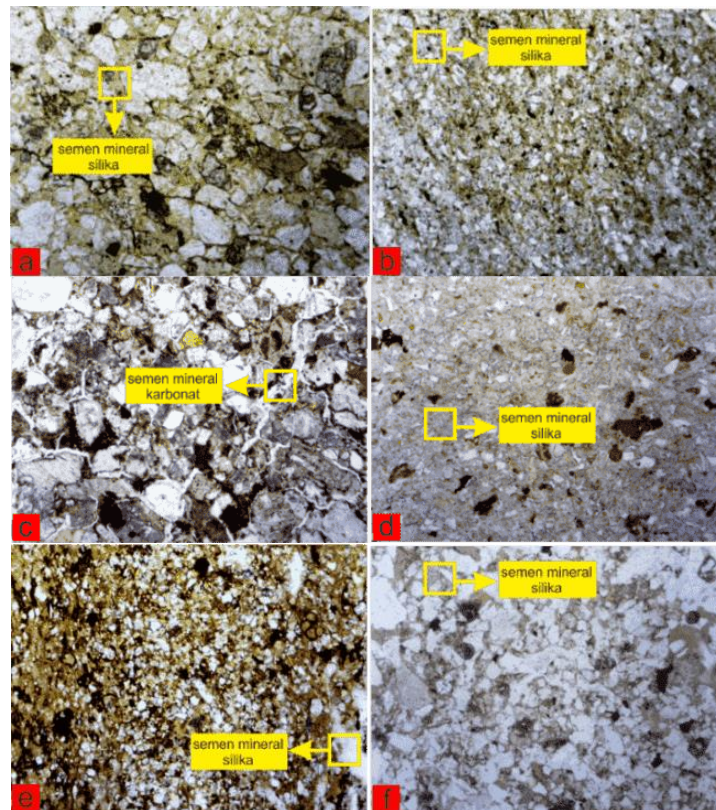
Gambar 9. Kenampakan Proses Pelarutan dengan perbesaran 40x pada Lokasi Pengamatan (LP): (a) 1, (b) 2, (c) 3, (d) 4, (e) 5, dan (f) 6



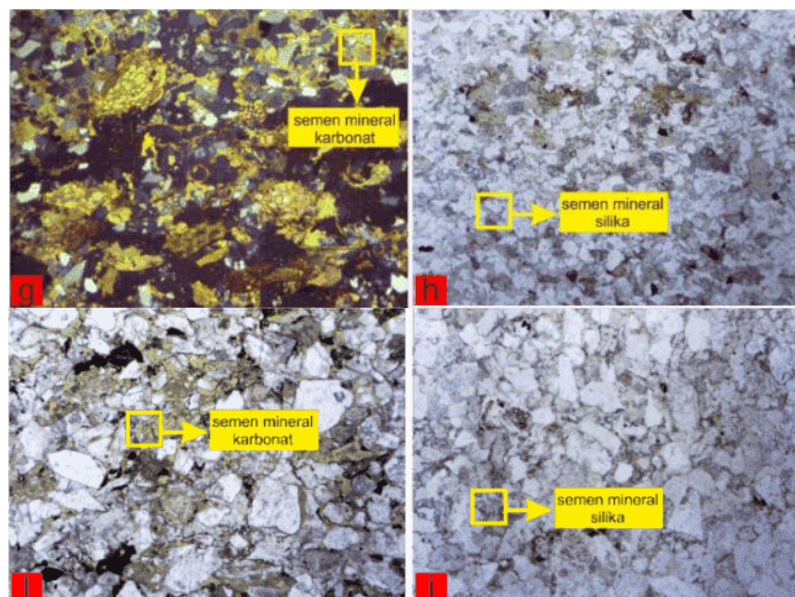
Gambar 10. Kenampakan Proses Pelarutan dengan perbesaran 40x pada Lokasi Pengamatan (LP): (g) 7, (h) 8, (i) 9, dan (j) 10

Fase Sementasi

Fase sementasi merupakan proses pengikatan fragmen dan matriks menggunakan material yang lebih kecil. Kondisi kompaksi mekanis yang minim dan adanya pori-pori terbuka di kedalaman tempat terjadinya proses mesogenesis sering kali mengakibatkan sementasi yang intens (Niegel and Franz, 2023). Proses sementasi pada batupasir Formasi Cinambo terjadi pada mineral silika (Gambar 11a, 11b, 11d, 11e, 11f, Gambar 12h, dan 12j) dan mineral karbonat (Gambar 11c, Gambar 12g, dan Gambar 12i).



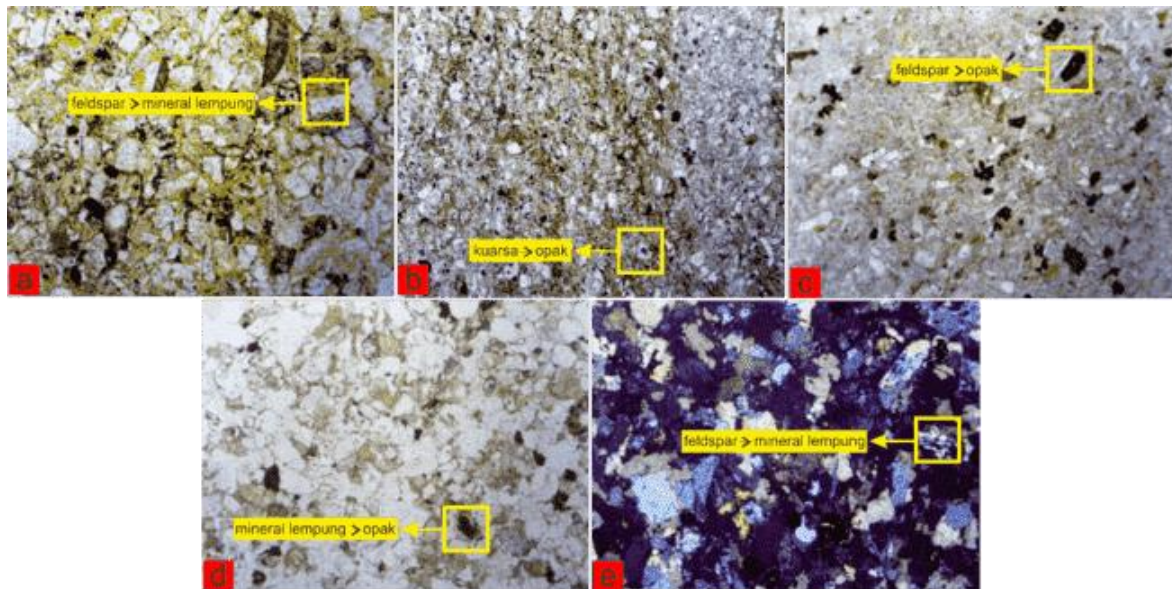
Gambar 11. Proses Sementasi Batupasir dengan perbesaran 40x pada Lokasi Pengamatan (LP): (a) 1, (b) 2, (c) 3, (d) 4, (e) 5, dan (f) 6



Gambar 12. Proses Sementasi Batupasir dengan perbesaran 40x pada Lokasi Pengamatan (LP): (g) 7, (h) 8, (i) 9, dan (j) 10

Fase Authigenesis

Pembentukan mineral autigenik adalah proses mineral yang secara langsung berkembang di tempat dalam batuan sedimen selama proses diagenesis. Mineral yang sudah ada sebelumnya yang terurai sebagian atau seluruhnya dapat menghasilkan mineral autigenik. Dari sepuluh sampel batupasir Formasi Cinambo, lima di antaranya mengalami proses pembentukan mineral authigenik. Pada LP 1 (Gambar 13a) dan LP 10 (Gambar 13e), terjadi authigenesis yang membentuk mineral lempung karena aktivitas pelapukan yang menyebabkan presipitasi mineral feldspar mengubah bentuknya dan menggantinya dengan mineral lempung. Sementara itu, pada LP 2 (Gambar 13b), LP 4 (Gambar 13c), dan LP 6 (Gambar 13d), terjadi proses authigenesis dimana terdapat perubahan menjadi mineral opak yang menutupi mineral asli berupa mineral kuarsa dan mineral lempung.



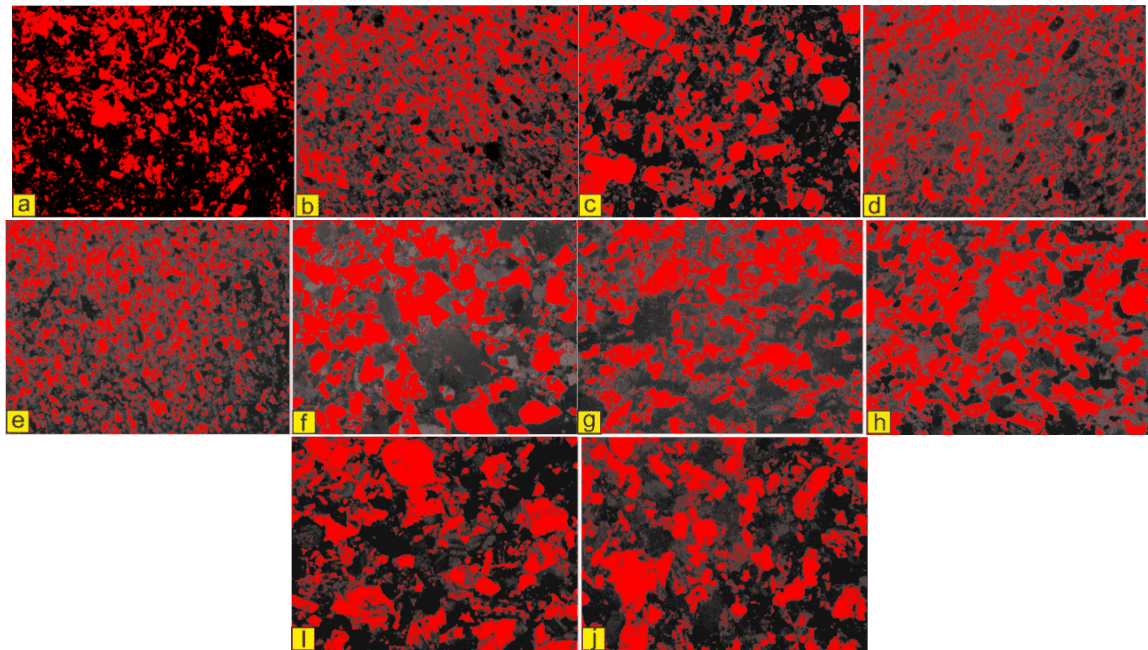
Gambar 13. Proses Authigenesis dengan perbesaran 40x pada Lokasi Pengamatan (LP): (a) 1, (b) 2, (c) 4, (d) 6, dan (e) 10

Pada daerah penelitian, terdapat tiga tahapan diagenesis, yaitu eogenesis, mesogenesis (*burial*), dan telogenesis (*uplift*) (Worden and Burley, 2003). Pada tahap eogenesis, dimulai saat lapisan batupasir Formasi Cinambo terendapkan pada awal Kala Miosen dan ditempatkan dalam lingkungan *lower fan* dalam sistem kipas laut dalam. Tahap mesogenesis (*burial*) pada Formasi Cinambo terjadi penimbunan oleh material baru di atas lapisan sedimen tersebut ditandai dengan kompaksi batuan, pelarutan mineral, dan sementasi. Kemudian, tahapan telogenesis (*uplift*) pada batupasir Formasi Cinambo ditandai dengan munculnya mineral autigenik. Selain itu, pada Kala Miosen Akhir, gaya kompresi berkembang di daerah penelitian yang menyebabkan Formasi Cinambo mengalami struktur geologi berupa lipatan antiklin sehingga mengalami pengangkatan pada lapisan sedimen. Lalu lapisan sedimen yang telah terangkat ke permukaan tersebut terkontaminasi oleh air meteorik sehingga mengalami pelapukan.

Porositas Batupasir Formasi Cinambo

Porositas batupasir Formasi Cinambo diuji pada sepuluh sampel petrografi melalui sayatan tipis. Dalam hasil analisis ini, sepuluh sampel batupasir Formasi Cinambo dianalisis untuk menentukan porositasnya. Porositas batuan dipengaruhi oleh sortasi, pelarutan, dan

kompaksi dalam diagenesis. Jika terjadi pelarutan pada sampel batupasir, maka porositas batuan tersebut akan meningkat. Selanjutnya, semakin kuat proses kompaksi pada suatu batuan, semakin buruk porositasnya karena proses tersebut akan menyebabkan butiran sedimen menjadi padat sehingga tidak ada ruang kosong atau rongga bagi fluida untuk mengalir dalam batuan tersebut (Gambar 14).



Gambar 14. Hasil Analisis Porositas Batupasir Formasi Cinambo dengan perbesaran 40x pada Lokasi Pengamatan (LP): (a) 1, (b) 2, (c) 3, (d) 4, (e) 5, (f) 6, (g) 7, (h) 8, (i) 9, dan (j) 10

Berdasarkan analisis porositas pada batupasir Formasi Cinambo di wilayah penelitian, porositas pada batupasir tersebut diklasifikasikan sebagai istimewa (>25%) (Koesoemadinata, 1980). Persentase porositas pada sampel dari Lokasi Pengamatan 1 hingga 10 sebesar 28% - 45% dengan nilai rata - rata 34,3%. Persentase tersebut salah satunya dipengaruhi oleh sortasi batuan yang cenderung *well sorted*. Faktor lain yang mempengaruhi porositas, yaitu oleh fase diagenesis. Meskipun fase kompaksi pada sepuluh sampel batupasir tersebut cukup kuat sehingga menyebabkan berkurangnya porositas batuan, namun fase pelarutan dapat meningkatkan porositas dengan membentuk pori atau celah. Pada tahap pelarutan, nilai porositas batuan cenderung meningkat karena terjadi aliran mineral oleh fluida yang menyebabkan sementasi. Berdasarkan hasil analisis yang dilakukan, didapatkan hasil persentase nilai porositas (Tabel 2).

Tabel 2. Nilai Porositas Batupasir Formasi Cinambo

Lokasi Pengamatan	Kode Sampel	Hasil Perhitungan Porositas Batupasir Formasi Cinambo	Keterangan (Koesoemadinata, 1980)
LP 1	01Tomcl	32.7%	Istimewa
LP 2	02Tomcl	32.8%	Istimewa
LP 3	03Tomcl	33.7%	Istimewa
LP 4	05Tomcl	30.5%	Istimewa
LP 5	08Tomcl	28.5%	Istimewa
LP 6	13Tomcl	38.5%	Istimewa
LP 7	18Tomcl	35.7%	Istimewa
LP 8	19Tomcl	45.7%	Istimewa

LP 9	20Tomcl	33.4%	Istimewa
LP 10	36Tomcl	31.3%	Istimewa

Hasil analisis diagenesis dan porositas batupasir Formasi Cinambo menunjukkan fase diagenesis terdiri dari kompaksi, pelarutan berupa mikroporositas primer, sementasi, dan authigenesis. Tahapan diagenesis yang berlangsung diantaranya eogenesis, mesogenesis, dan telogenesis. Hal ini serupa dengan proses diagenesis pada Formasi Jatiluhur dengan fase dan tahapan diagenesis yang mirip (Aulia and Aditiyo, 2021). Hal tersebut dikarenakan Formasi Cinambo dan Formasi Jatiluhur masih termasuk ke dalam Cekungan Bogor dengan mekanisme arus turbidit. Persentase porositas batupasir Formasi Cinambo berkisar antara 28 – 45%. Persentase porositas pada batupasir Formasi Jatiluhur dan Formasi Cinambo berbeda dengan hasil pada porositas memiliki persentase sebesar 3 – 23% (Aulia and Aditiyo, 2021). Hal ini dikarenakan pada proses pelarutan yang berlangsung pada diagenesis batupasir Formasi Jatiluhur berupa pelarutan parsial, dimana hanya sebagian fragmen saja yang mengalami pelarutan. Sedangkan pada batupasir Formasi Cinambo, seluruh sampel batupasir mengalami fase pelarutan yang membuat porositas bertambah akibat fragmen mikrokuarsa yang terlarut ke dalam pori batuan sehingga persentase porositas masuk ke dalam klasifikasi istimewa (28% - 45%). Selain itu faktor sortasi *well sorted* juga menghasilkan porositas dengan nilai yang istimewa dengan jenis porositas primer berjenis *intergranular porosity*.

KESIMPULAN

Proses diagenesis yang terjadi pada batupasir Formasi Cinambo terdiri atas fase kompaksi dimana didapatkan kontak antar butir sedimen pada sayatan tipis dengan jenis *floating contact*, *point contact*, *long contact*, *concavo-convex contact*, dan *sutured contact*. Fragmen mineral yang rusak mengalami pergeseran bentuk, menandakan dimulainya fase pelarutan yang menghasilkan mikroporositas primer. Lalu terjadi fase sementasi yang meliputi mineral lempung dan smektit yang mengisi rongga antar pori fragmen dan matriks batuan. Setelah itu terjadi fase authigenesis yang diindikasikan dengan terbentuknya mineral opak diatas mineral kuarsa dan feldspar dan terbentuknya mineral lempung diatas feldspar yang mengalami pelapukan.

Berdasarkan analisis porositas pada batupasir Formasi Cinambo di daerah Cengal, nilai porositas pada batuan tersebut dikategorikan istimewa (>25%). Nilai porositas yang tinggi ini dipengaruhi oleh faktor seperti sortasi *well sorted*. Faktor lain yang memengaruhi nilai porositas pada batupasir Formasi Cinambo adalah fase diagenesis. Meskipun fase kompaksi pada sepuluh sampel batupasir tersebut cukup kuat dan menyebabkan penurunan porositas batuan, fase pelarutan dapat meningkatkan porositas dengan membentuk pori atau celah. Dengan begitu, terlihat bahwa diagenesis memberikan pengaruh terhadap porositas batupasir Formasi Cinambo. Adanya fase pelarutan akan menghasilkan nilai porositas istimewa pada seluruh sampel. Akan tetapi pada fase kompaksi cenderung menurunkan porositas karena adanya tekanan pada butir sedimen sehingga ruang antar porinya berkurang. Selain itu faktor lain yang mempengaruhi adalah sortasi batuan *well sorted* sehingga jarak antar butir sedimen cenderung seragam dan memudahkan fluida untuk mengalir pada pori tersebut. Nilai porositas pada batupasir Formasi Cinambo menunjukkan kemampuan sebagai reservoir yang potensial di wilayah penelitian.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Pak Wahyu selaku Kepala Desa Cengal dan masyarakat Desa Cengal telah mengizinkan untuk penelitian.

PUSTAKA

- Adepehin, E.J., Bankole, O.M. and Arifin, M.H. (2022) 'Poro-perm evolution in Oligo-Miocene coastal sandstones: Constraining the relative influence of sedimentary facies, mineralogy, and diagenesis on analogue reservoir quality of the Nyalau Formation, Borneo', *Marine and Petroleum Geology*, 139. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2022.105589>.
- Arbol, K.M. and Bahar, H. (2021) 'Analisis Porositas Dan Permeabilitas Batupasir Gampingan Formasi Ngrayong Untuk Penentuan Potensi Batuan Reservoir Di Kecamatan Bangilan Dan Sekitarnya, Kabupaten Tuban, Provinsi Jawa Timur', *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi Terapan*, 9.
- Ärlebrand, A., Carita, A., Alejandro, E., Andreas, G.S., and Dora, M. (2021) 'Provenance, depositional setting and diagenesis as keys to reservoir quality of the Lower Cretaceous in the SW Barents Sea', *Marine and Petroleum Geology*, 132. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2021.105217>.
- Aulia, I. and Aditiyo, R. (2021) 'Diagenesis Study of Jatiluhur Formation at Cipamingkis River, Bogor Regency, West Java, Indonesia', *Journal of Geoscience, Engineering, Environment, and Technology*, 6(4). Available at: <https://doi.org/10.25299/jgeet.2021.6.4.7646>.
- Bello, A.M., Usman, M.B., and Mukkafa, S (2023) 'Linking diagenesis and reservoir quality to depositional facies in marginal to shallow marine sequence: An example from the Campano-Maastrichtian Gombe Sandstone, Northern Benue Trough, NE Nigeria', *Marine and Petroleum Geology*, 155. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2023.106386>.
- Bemmelen, Van R.W. (1949) 'The Geology of Indonesia. General Geology of Indonesia and Adjacent Archipelagoes', *Government Printing Office, The Hague* [Preprint].
- Bjørlykke, K. (2014) 'Relationships between depositional environments, burial history and rock properties. Some principal aspects of diagenetic process in sedimentary basins', *Sedimentary Geology*. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2013.12.002>.
- Bloch, S. (1991) 'Empirical prediction of porosity and permeability in sandstones', *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 75(7). Available at: <https://doi.org/10.1306/20b23c73-170d-11d7-8645000102c1865d>.
- Catuneanu, O. (2020) 'Sequence stratigraphy', in *Regional Geology and Tectonics: Volume 1: Principles of Geologic Analysis*. Available at: <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-64134-2.00021-3>.
- Collinson, J. (2005) 'Depositional Sedimentary Structures', *Encyclopedia of Geology* [Preprint], (1982).
- Gibran, A.K., Kusworo, A., Joko, W., and Eko. B. (2022) 'Proses Diagenesis Batupasir Formasi Kanikeh, Seram Bagian Timur, Maluku, Indonesia', *Jurnal Geologi dan Sumberdaya Mineral*, 23(2). Available at: <https://doi.org/10.33332/jgsm.geologi.v23i2.412>.
- Kassem, A.A., Nasr, A., Mohamed, A., and Sreepat, J.(2021) 'Petrographic and diagenetic study of siliciclastic Jurassic sediments from the northeastern margin of Africa: Implication for reservoir quality', *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 200. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.petrol.2020.108340>.
- Khan, S.H., Sheng, Y., and Basharat, U. (2024) 'Depositional and diagenetic controls on reservoir properties of the lower Cambrian Khewra Sandstone, eastern salt range, Sub-

- Himalaya, Pakistan', *Marine and Petroleum Geology*, 161, p. 106651. Available at: <https://doi.org/10.1016/J.MARPETGEO.2023.106651>.
- Mutti, E. and Lucchi, F.R. (1978) 'Turbidites of the Northern Apennines: Introduction to facies analysis', *International Geology Review*, 20(2). Available at: <https://doi.org/10.1080/00206817809471524>.
- Nasution, R.S. (2022) 'Diagenesis of Subang Formation in Cibeet River, Bogor, West Java', in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. Available at: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1111/1/012019>.
- Niegel, S. and Franz, M. (2023) 'Depositional and diagenetic controls on porosity evolution in sandstone reservoirs of the Stuttgart Formation (North German Basin)', *Marine and Petroleum Geology*, 151, p. 106157. Available at: <https://doi.org/10.1016/J.MARPETGEO.2023.106157>.
- Pettijohn, F.J., Potter, P.E. and Siever, R. (1975) 'Sand and Sandstone', *Soil Science*, 117(2). Available at: <https://doi.org/10.1097/00010694-197402000-00013>.
- Pickering, K.T. and Hiscott, R.N. (2015) *Deep marine systems: processes, deposits, environments, tectonics and sedimentation*, John Wiley & Sons Inc, Chichester, West Sussex.
- Rachman, R.S., Winantris and Muljana, B. (2021) 'Age and Depositional Environment of Walat Formation Based on Palynological Analysis in Sukabumi Regency, West Java, Indonesia', *Pakistan Journal of Geology*, 0(0). Available at: <https://doi.org/10.2478/pjg-2021-0001>.
- Rafdy, R.A., Yusi, F., Joko, W., Edy, S. (2018) 'Porositas Reservoir Karbonat Formasi Manusela Berdasarkan Analisis Petrofisika', *padjajaran Geoscience Journal*, 2(6).
- Sam, B.J. (2006) *2006 principles-of-sedimentology-and-stratigraphy 4th edition*, Journal of Chemical Information and Modeling.
- Scherer, M. (1987) 'Parameters influencing porosity in sandstones: a model for sandstone porosity prediction', *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 71(5). Available at: <https://doi.org/10.1306/94886ed9-1704-11d7-8645000102c1865d>.
- Snyder, M.E. and Waldron, J.W.F. (2021) 'Deformation of soft sediments and evaporites in a tectonically active basin: Bay St. George sub-basin, Newfoundland, Canada', *Atlantic Geology*, 57. Available at: <https://doi.org/10.4138/atlgel.2021.013>.
- Stewart, I.J. (2020) 'Regional geology and tectonics of sedimentary basins', in *Regional Geology and Tectonics: Volume 1: Principles of Geologic Analysis*. Available at: <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-64134-2.00001-8>.
- Sudithio, R., Rosana, M.F. and Senjaya, Y.A. (2017) 'Asal Sedimen Formasi Ciletuh di Teluk Ciletuh, Kabupaten Sukabumi', *Padjadjaran Geoscience Journal*, 1(3).
- Sunarta, J. A., Rochmana, Y. Z., & Hastuti, E. W. D. (2024) 'Rekonstruksi Sejarah Geologi Berdasarkan Analisis Stratigrafi di Daerah Cengal dan Sekitarnya, Kecamatan Maja, Kabupaten Majalengka, Jawa Barat', *Jurnal Mineral, Energi, dan Lingkungan*, 7(2), 33-50.
- Worden, R.H. and Burley, S.D. (2003) 'Sandstone Diagenesis: The Evolution of Sand to Stone', in *Sandstone Diagenesis*. Available at: <https://doi.org/10.1002/9781444304459.ch>.