

KONTROL DIAGENESIS TERHADAP POROSITAS BATUPASIR FORMASI BOJONGMANIK ANGGOTA BATUPASIR DAERAH LEUWIDAMAR DAN SEKITARNYA, KABUPATEN LEBAK, PROVINSI BANTEN

Muhammad Hafidz Atthoriq¹⁾, Budhi Setiawan¹⁾, Yogie Zulkurnia Rochmana¹⁾

¹⁾ Teknik Geologi, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya

E-mail: yogie.zrochmana@ft.unsri.ac.id

ABSTRAK

Diagenesis dapat mempengaruhi nilai porositas pada batupasir Formasi Bojongmanik, Anggota Batupasir. Studi terkait kontrol diagenesis di daerah Leuwidamar belum dilakukan secara detail, sehingga penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kontrol diagenesis terhadap porositas pada Formasi Bojongmanik di daerah Leuwidamar. Metode yang digunakan adalah analisis petrografi dan analisis porositas. Analisis petrografi untuk mengetahui karakteristik batuan dilihat secara mikroskopis serta penentuan fase diagenesis beserta tahapan diagenesis di lokasi penelitian. Analisis porositas untuk mengetahui tingkat kualitas porositas batuan dengan bantuan *software ImageJ*. Hasil yang didapatkan pada penelitian ini yaitu fase diagenesis diantaranya fase kompaksi, fase pelarutan, fase sementasi dan fase autogenesis yang kemudian akan menentukan kontrol diagenesis terhadap porositas yang terjadi. Pada tahapan diagenesis terdapat dua tahap yaitu tahap mesogenesis dan telogenesis. Pada tahap mesogenesis terjadi proses kompaksi, pelarutan, sementasi dan authigenesis pada kedalaman 2,5 sampai 6 km dan suhu yang berkisar antara 80° hingga 220°C. Pada fase telogenesis terjadi pengangkatan akibat adanya aktivitas tektonisme pada kala miosen akhir yang mengakibatkan terbentuknya sesar normal, lipatan antiklin dan lipatan sinklin di daerah Leuwidamar. Hal tersebut mengakibatkan lapisan batupasir terangkat ke permukaan dan terkena air meteoriik sehingga terbentuknya oksidasi besi. Batupasir Formasi Bojongmanik, Anggota Batupasir di daerah penelitian memiliki tingkat kematangan yang bervariasi yaitu *mature A*, *mature B* dan *super mature*. Batupasir pada daerah Leuwidamar memiliki tingkat porositas cukup hingga istimewa (12,8% hingga 30,1%).

Kata Kunci: diagenesis, Formasi Bojongmanik, petrografi, porositas, tahap diagenesis

ABSTRACT

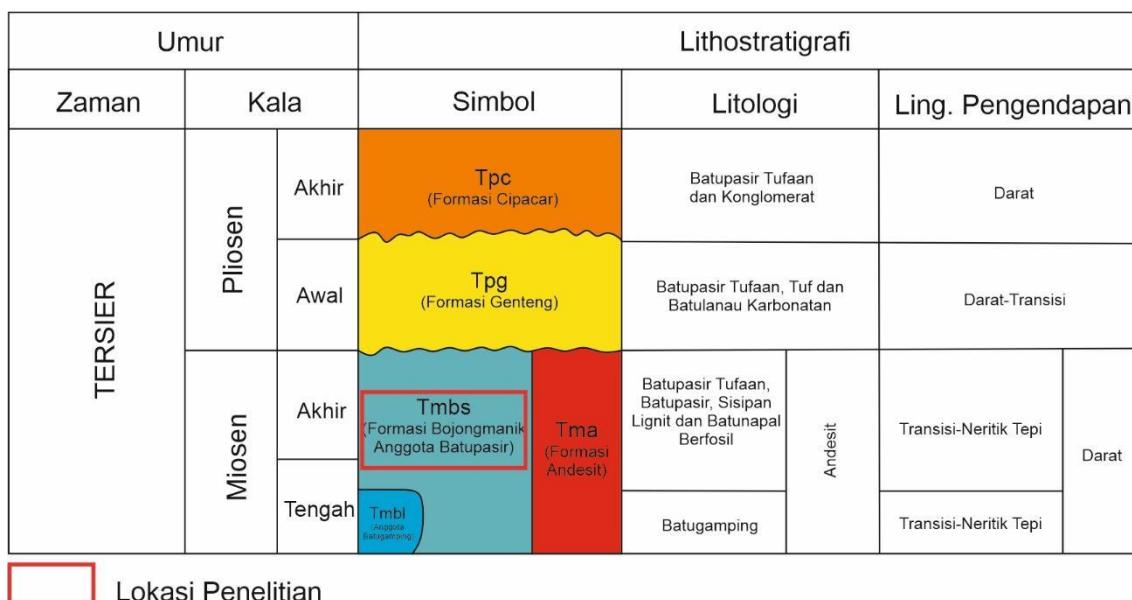
Diagenesis can affect the porosity value in sandstone of the Bojongmanik Formation, Sandstone Member. Studies related to diagenesis control in the Leuwidamar area have not been carried out in detail, so this study aims to determine the diagenesis control of porosity in the Bojongmanik Formation in the Leuwidamar area. The methods used are petrographic analysis and porosity analysis. Petrographic analysis to determine the characteristics of rocks seen microscopically and to determine the diagenesis phase, along with the stages of diagenesis at the research location. Porosity analysis to determine the level of rock porosity quality using with software ImageJ. The results obtained in this study are the diagenesis phase, including the compaction phase, dissolution phase, cementation phase, and authigenesis phase, which will then determine the diagenesis control of the porosity that occurs. In the diagenesis stage, there are two stages, namely the mesogenesis and telogenesis stages. In the mesogenesis stage, the compaction, dissolution, cementation, and authigenesis processes occur at a depth of 2.5 to 6 km and temperatures ranging from 80°C to 220°C. In the telogenesis phase, there was an uplift due to tectonic activity in the late Miocene, which resulted in the formation of normal faults, anticline folds, and syncline folds in the Leuwidamar area. This caused the sandstone layer to be lifted to the surface and exposed to meteoric water, so that iron oxidation was formed. The sandstone member of Bojongmanik Formation Sandstone in the research area has varying levels of maturity, namely mature A, mature B, and super mature. Sandstone in the Leuwidamar area has a moderate to excellent porosity level (12.8% to 30.1%).

Keywords: Bojongmanik Formation, diagenesis, diagenetic stages, petrography, porosity

I. PENDAHULUAN

Diagenesis merupakan serangkaian proses kimia dan fisika yang mengubah sedimen menjadi batuan sedimen setelah proses sementasi, tetapi sebelum terjadinya perubahan yang lebih intensif seperti metamorfisme (Sani et al., 2023). Proses fisik diagenesis dicirikan oleh pengurangan cairan, pemanasan material, dan pembentukan rekahan yang memengaruhi permeabilitas dan porositas. Kompaksi rendah memicu sementasi intensif dengan mekanisme yang belum sepenuhnya dipahami (Niegel & Franz, 2023). Di sisi lain, proses kimia diagenesis meningkatkan porositas batuan dengan cara mengisi ruang pori-pori dengan semen (Gibran et al., 2022). Analisis diagenesis dapat digunakan untuk mengevaluasi potensi suatu batuan sedimen sebagai reservoir hidrokarbon (Jin et al., 2023). Sebaliknya, potensi suatu batupasir sebagai reservoir hidrokarbon sangat dipengaruhi oleh komposisi mineral dan lingkungan pengendapannya (Santy, 2014). Diagenesis terdiri atas beberapa fase, meliputi kompaksi, pelarutan, sementasi, dan autogenesia. Fase-fase ini secara kolektif membentuk tiga tahap utama diagenesis, yaitu eogenesis, mesogenesis, dan telogenesis (Basuki & Wiyoga, 2012). Proses pengangkatan dan erosi batuan menyebabkan terjadinya perubahan pada batuan tersebut, termasuk pembentukan oksida besi. Tahap ini dikenal sebagai salah satu fase diagenesis (Mustaqim et al., 2023). Nilai porositas batuan dipengaruhi secara signifikan oleh adanya kontrol proses diagenesis yang terjadi selama pasca pengendapan berlangsung (Sunarta et al., 2024).

Daerah Leuwidamar, Kabupaten Lebak, Provinsi Banten termasuk dalam Peta Lembar Geologi Leuwidamar (Sujatmiko dan Santosa, 1992) memiliki 4 formasi dan 2 satuan anggota formasi yaitu Formasi Bojongmanik Anggota Batugamping (Tmbl) dan Formasi Bojongmanik, Anggota Batupasir (Tmbs), Formasi Andesit (Tma), Formasi Genteng (Tpg), dan Formasi Cipacar (Tpc) (**Gambar 1**). Studi ini akan berfokus pada analisis proses-proses diagenesis yang dialami oleh batupasir Formasi Bojongmanik, Anggota Batupasir, dengan area penelitian terpusat di Leuwidamar. Analisis ini bertujuan untuk menyelidiki proses diagenesis yang menyebabkan perubahan pada sifat fisik, kimia, dan mineralogi batupasir pasca-pengendapan. Secara geomorfologi, wilayah penelitian ini berada dalam blok Banten, yang didominasi oleh bentuk lahan berupa pegunungan berstruktur kubah (Sani et al., 2023). Daerah Gunungkendeng di Lebak, Banten, memiliki pola tegasan utama berarah utara-selatan. Pola tegasan ini menghasilkan struktur geologi yang khas dan serupa dengan pola struktur yang umum ditemukan di seluruh Pulau Jawa (Subandi et al., 2023). Endapan di bagian barat penelitian ini termasuk dalam Cekungan Rangkasbitung, di mana terdapat Formasi Bojongmanik yang terdiri dari anggota batugamping dan batupasir. Formasi ini terbentuk pada kala N9 hingga N17 dalam lingkungan pengendapan neritik tepi (Syahrulyati et al., 2020). Analisis fragmen batuan pada batupasir mengindikasikan bahwa material sedimen berasal dari kompleks subduksi Jawa. Hal ini ditandai oleh kehadiran fragmen batuan beku vulkanik, metamorf, dan sedimen yang khas terbentuk dalam lingkungan tektonik subduksi (Utami & Cahyarini, 2017).



Gambar 1. Stratigrafi Daerah Penelitian Modifikasi Sujatmiko dan Santosa (1992).

Analisis pada batupasir Formasi Bojongmanik menunjukkan bahwa batupasir ini telah melalui tahap diagenesis yang lanjut, yaitu telogenesis. Proses ini ditandai oleh perubahan signifikan pada mineralogi, tekstur, dan sifat fisik batupasir (Surono & Rahayudin, 2002). Analisis sampel batuan di Cilograng, Lebak, menunjukkan bahwa batuan tersebut telah

mengalami proses diagenesis yang intensif, khususnya telogenesis. Bukti dari proses ini adalah adanya perubahan mineralogi dan tekstur yang disebabkan oleh pengaruh air meteorik dan peristiwa pengangkatan tektonik (Setyabudi & Sutriyono, 2019). Penelitian mengenai kontrol diagenesis terhadap porositas batupasir Formasi Bojongmanik, Anggota Batupasir di daerah Leuwidamar masih terbatas. Oleh karena itu, penelitian ini akan fokus pada karakterisasi detail batupasir Formasi Bojongmanik, Anggota Batupasir, menganalisis proses diagenesis yang terjadi, dan mengkaji kontrol diagenesis terhadap porositas di daerah Leuwidamar.

II. METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan analisis petrografi dan analisis porositas. Sampel batuan dibuat dalam bentuk sayatan tipis (*thin section*) sebelum diamati di bawah mikroskop petrografi. Analisis petrografi dilakukan pada 10 sampel batupasir Formasi Bojongmanik, Anggota Batupasir menggunakan metode *point counting* untuk menentukan komposisi mineral dan klasifikasi batuan berdasarkan klasifikasi (Pettijohn et al., 1987). Setelah karakteristik petrografi batupasir seperti komposisi mineral, ukuran butir, sortasi, dan hubungan antar butir diperoleh dari analisis petrografi, kemudian setelah itu dilakukan analisis diagenesis berdasarkan (Burley & Worden, 2009). Determinasi diagenesis bertujuan untuk mengetahui fase diagenesis yang terjadi serta menentukan tahapan diagenesis yang terjadi pada lokasi penelitian seperti tahap eogenesis, mesogenesis dan telogenesis. Pada analisis diagenesis objek yang diamati adalah mineral yang mengalami fase kompaksi, pelarutan, sementasi dan autogenesia pada kenampakan mikroskopis. Setelah dilakukan analisis diagenesis, kemudian dilakukan analisis porositas menggunakan klasifikasi berdasarkan (Koesoemadinata, 1980) untuk menentukan tingkat porositas. Dalam melakukan analisis porositas dibantu menggunakan *software ImageJ* untuk melihat porositas batuan, adapun hal yang diamati pada software ini adalah pori-pori pada sayatan tipis sampel batupasir.

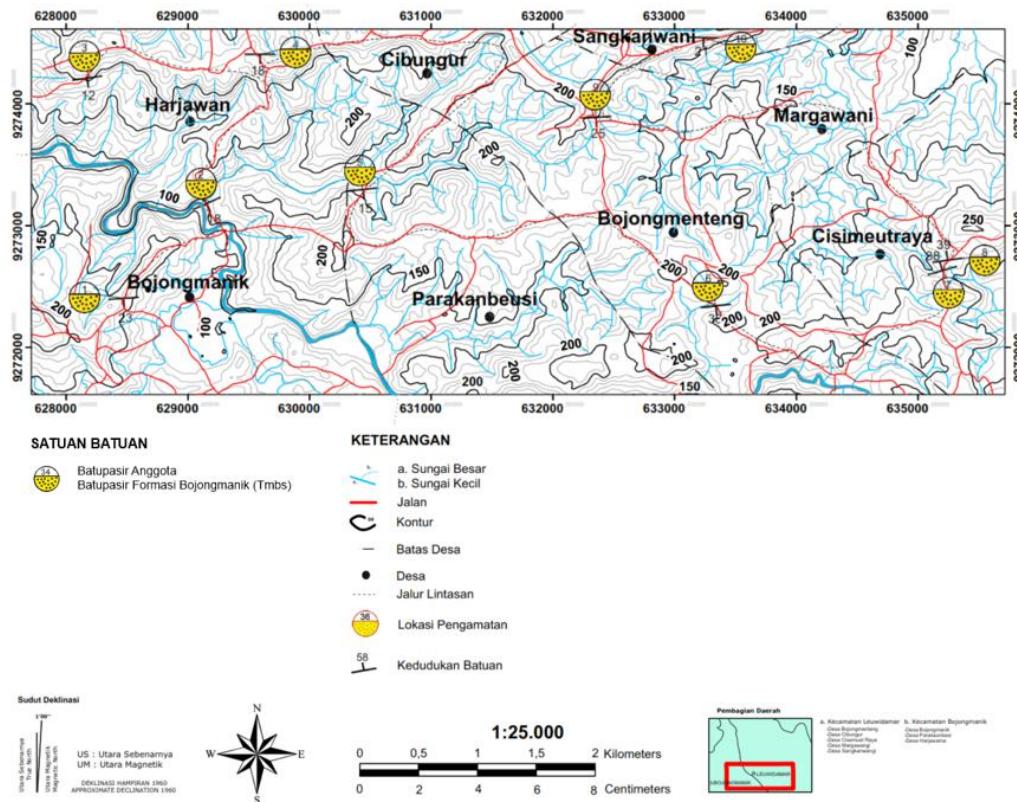
III. HASIL DAN DISKUSI

3.1. Komposisi Umum Batupasir

Analisis petrografi dilakukan dengan mengamati sayatan tipis batuan di bawah mikroskop polarisasi untuk mengidentifikasi mineral-mineral penyusun batupasir, baik dalam kondisi cahaya biasa maupun cahaya terpolarisasi. Analisis petrografi dilakukan pada 10 sampel batupasir Formasi Bojongmanik, Anggota Batupasir (**Gambar 2**). Klasifikasi batuan sedimen klastik berdasarkan (Pettijohn et al., 1987) untuk mendeskripsikan komposisi mineral, fragmen, matriks, dan semen. Setelah dilakukan normalisasi terhadap kandungan kuarsa, feldspar, dan litik, karakteristik petrografi dari 10 sampel batupasir Formasi Bojongmanik, Anggota Batupasir dapat ditentukan (**Tabel 1**).

Tabel 1. Komposisi Mineral Batupasir Formasi Bojongmanik, Anggota Batupasir. (Keterangan: Q= Kuarsa; Opq= Opak; Ml= Mineral Lempung; F= Feldspar; P= Piroksen; Ob= Oksidasi Besi; L= Litik; B= Biotit; S= Silika)

No. Sampel	Fragmen (%)						Matriks (%)			Semen (%)	
	Q	F	L	Opq	P	B	Ml	Ob	S		
Tmbs 1	30	16	24	12	-	-	8	8	2		
Tmbs 2	14	6	50	11	-	-	17	-	2		
Tmbs 3	20	5	42	10	-	-	20	-	3		
Tmbs 4	17	35	18	8	-	-	15	7	3		
Tmbs 5	24	15	31	18	-	-	8	-	4		
Tmbs 6	34	8	26	15	-	-	10	3	4		
Tmbs 7	16	11	34	15	5	-	17	-	2		
Tmbs 8	19	21	32	8	-	-	11	5	6		
Tmbs 9	15	11	24	5	4	-	30	5	6		
Tmbs 10	10	19	16	6	3	30	8	5	3		

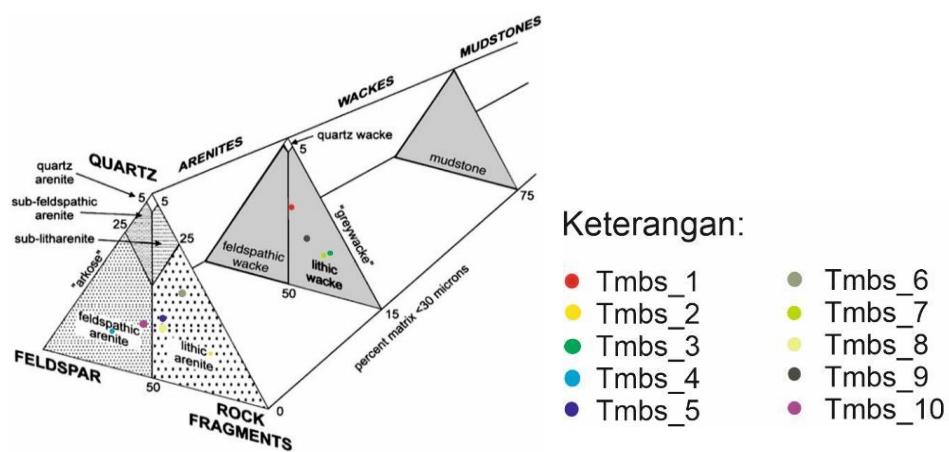


Gambar 2. Peta Lokasi Pengamatan Daerah Leuwidamar.

Berdasarkan hasil analisis petrografi yang menunjukkan komposisi mineral penyusun batuan, penamaan formal batuan tersebut dilakukan dengan mengacu pada klasifikasi (Pettijohn et al., 1987; Leitner et al., 2020). Penamaan batuan dilakukan dengan menganalisis persentase kuarsa, feldspar, dan fragmen batuan lainnya dalam sampel. Berdasarkan proporsi ketiga komponen tersebut, batuan akan dikategorikan sebagai arenite jika kandungan matriks (massa dasar di antara butiran mineral) kurang dari 15%. Sebaliknya, jika kandungan matriksnya antara 15% hingga 75%, maka batuan tersebut dikategorikan sebagai wacke (**Tabel 2** dan **Gambar 3**).

Tabel 2. Jenis batupasir Formasi Bojongmanik, Anggota Batupasir Daerah Penelitian Berdasarkan Klasifikasi (Pettijohn et al., 1987; Leitner et al., 2020).

Lokasi Pengamatan	No. Sampel	Nama Batuan (Pettijohn, 1987)
LP 1	Tmbs_1	Litchic Wacke
LP 2	Tmbs_2	Litchic Arenite
LP 3	Tmbs_3	Litchic Wacke
LP 4	Tmbs_4	Feldspathic Arenite
LP 5	Tmbs_5	Lithic Arenite
LP 6	Tmbs_6	Lithic Arenite
LP 7	Tmbs_7	Litchic Wacke
LP 8	Tmbs_8	Lithic Arenite
LP 9	Tmbs_9	Litchic Wacke
LP 10	Tmbs_10	Feldspathic Arenite



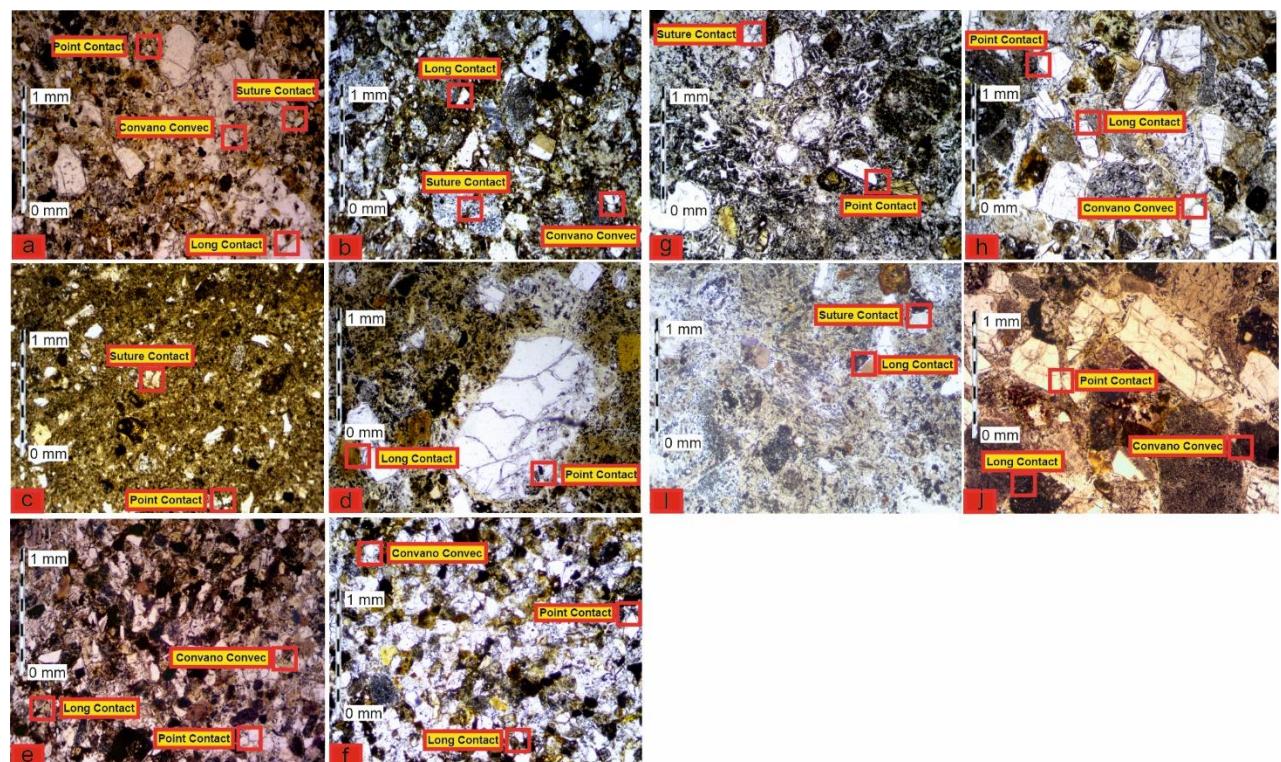
Gambar 3. Hasil Analisis Sampel Petrografi Daerah Penelitian Berdasarkan Klasifikasi (Pettijohn et al., 1987; Leitner et al., 2020).

3.2. Fase Diagenesis

Analisis diagenesis dilakukan dengan mengamati sayatan tipis batuan di bawah mikroskop untuk mengidentifikasi fase-fase diagenesis yang telah terjadi. Berdasarkan hasil pengamatan, ditemukan empat fase diagenesis utama pada sampel batuan, yaitu kompaksi, pelarutan, sedimentasi, dan authigenesis.

3.2.1. Fase Kompaksi

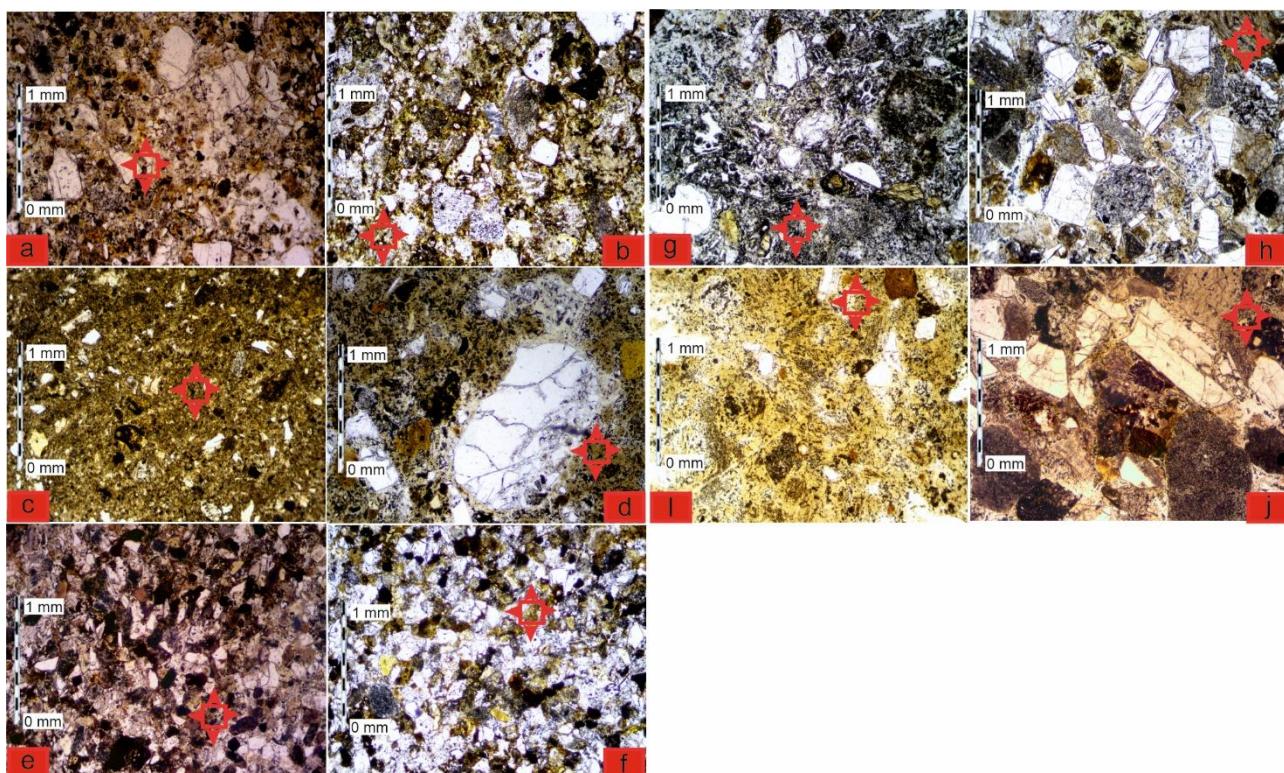
Fase kompaksi merupakan proses fisik yang melibatkan pengurangan volume batuan akibat tekanan dari lapisan sedimen di atasnya. Proses ini menyebabkan pengurangan ruang pori dan pengusiran air yang mengisi ruang antar butir. Indikator utama terjadinya kompaksi adalah peningkatan kontak antar butir mineral pada sayatan tipis. Semakin rapat kontak antar butir, semakin tinggi tingkat kompaksi yang dialami oleh batuan tersebut. Hal ini menunjukkan bahwa batuan telah mengalami tekanan yang cukup besar (Gambar 4).



Gambar 4. Fase Kompaksi Yang Terjadi Pada Sampel Batuan a)Tmbs_1 b)Tmbs_2 c)Tmbs_3 d)Tmbs_4 e)Tmbs_5 f)Tmbs_6 g)Tmbs_7 h)Tmbs_8 i)Tmbs_9 j)Tmbs_10 (Perbesaran 10x Okuler & 4x Objektif)

3.2.2. Fase Pelarutan

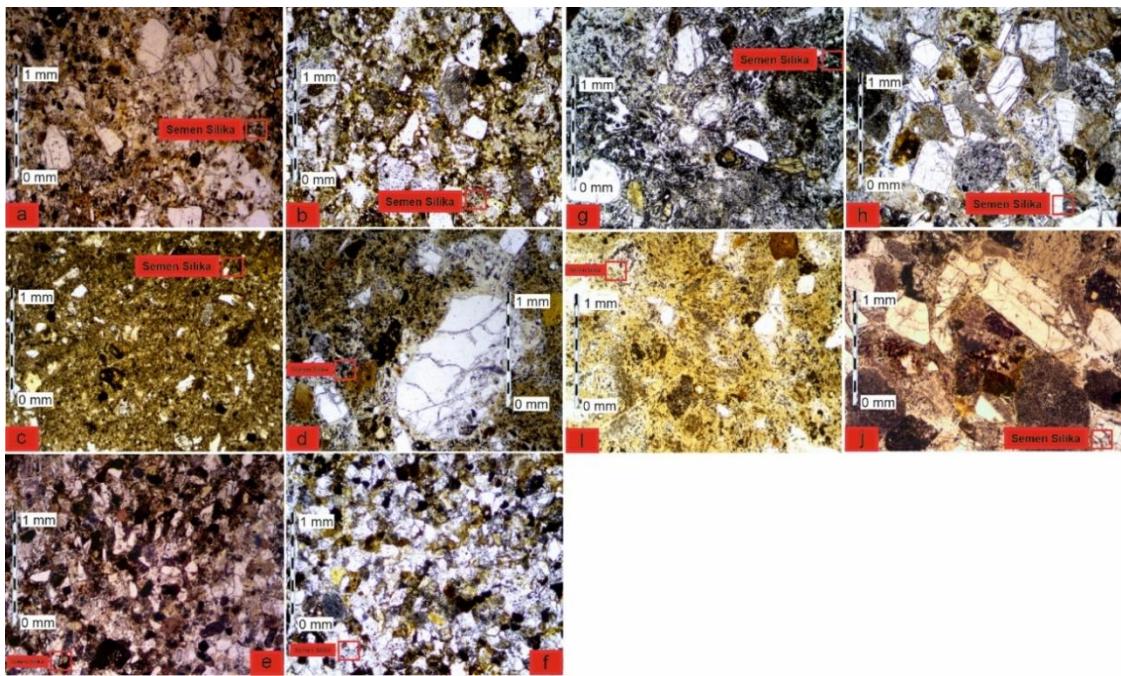
Fase pelarutan merupakan proses diagenesis yang melibatkan interaksi antara mineral penyusun batuan sedimen dengan fluida yang mengalir melalui pori-pori batuan. Interaksi ini dapat menyebabkan pelarutan mineral dan pembentukan rongga-rongga baru, sehingga meningkatkan porositas batuan. Laju dan tingkat pelarutan mineral sangat dipengaruhi oleh berbagai faktor lingkungan, seperti pH dan potensial redoks fluida, suhu, tekanan parsial CO_2 , serta komposisi kimia dan konsentrasi ion dalam fluida. Faktor-faktor tersebut dapat mempengaruhi stabilitas mineral dan kelarutannya dalam fluida. Proses pelarutan mineral pada fase diagenesis telah menyebabkan terbentuknya mikroporositas sekunder pada seluruh sampel batupasir Formasi Bojongmanik yang diteliti. Hal ini ditandai dengan adanya mineral-mineral yang bentuknya tidak sempurna akibat proses pelarutan. Selain itu, tingkat sortasi butiran mineral juga mempengaruhi nilai porositas batupasir (Beard & Weyl, 1973; Worden & Burley, 2003). Semakin baik tingkat sortasi (semakin seragam ukuran butirannya), maka semakin besar ruang kosong antar butiran (porositas) yang terbentuk. Hal ini disebabkan oleh semakin efisienya penempatan butiran yang berukuran seragam dalam mengisi ruang yang tersedia (**Gambar 5**).



Gambar 5. Fase Pelarutan yang Terjadi pada Sampel Batuan a)Tmbs_1 b)Tmbs_2 c)Tmbs_3 d)Tmbs_4 e)Tmbs_5 f)Tmbs_6 g)Tmbs_7 h)Tmbs_8 i)Tmbs_9 j)Tmbs_10 (Perbesaran 10x Okuler & 4x Objektif)

3.2.3. Fase Sementasi

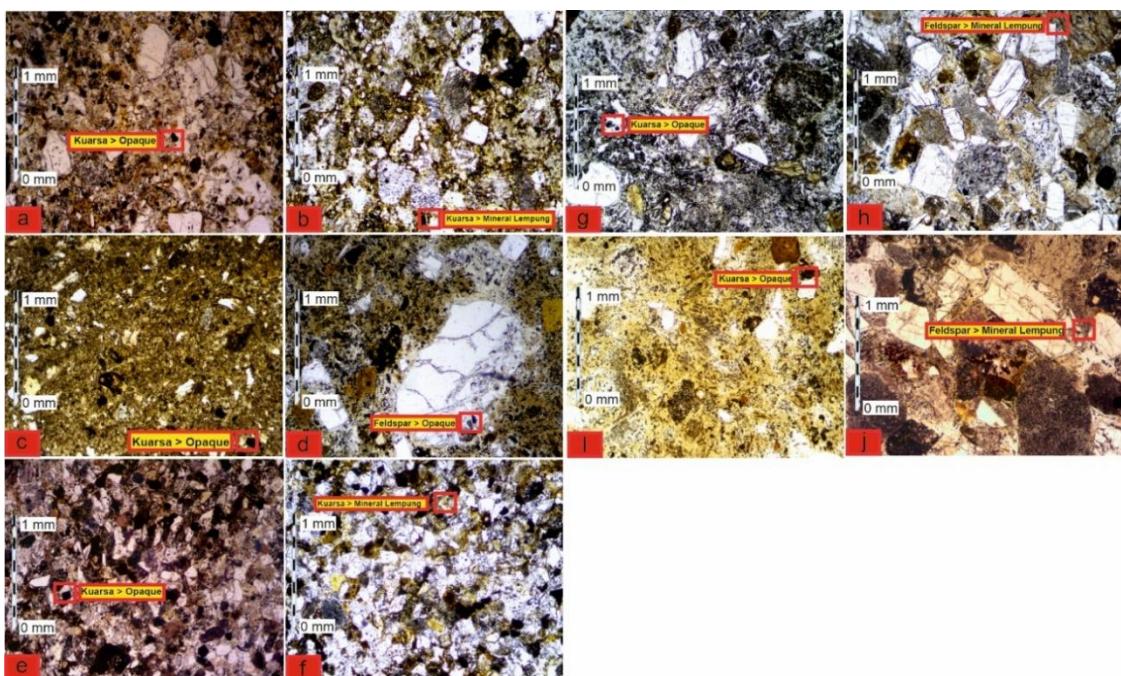
Proses sementasi pada batupasir umumnya melibatkan berbagai jenis mineral, namun kuarsa merupakan mineral semen yang paling dominan. Kuarsa pada semen batupasir seringkali membentuk lapisan yang tipis dan kontinu, menunjukkan pertumbuhan kristal yang berlangsung secara terus-menerus. Kuarsa ini dapat terbentuk melalui berbagai mekanisme diagenesis dan seringkali memiliki tekstur dendritik, yaitu berupa kristal-kristal kecil yang bercabang-cabang (Waugh, 1971; Burley & Worden, 2003). Pada fase ini juga terlihat adanya kontinuitas kristal yang sempurna antara kuarsa primer dan kuarsa sekunder, menunjukkan pertumbuhan kristal yang terus-menerus. Kuarsa sekunder terbentuk dari larutan yang mengisi pori-pori batuan dan berasal dari pelarutan mineral lain. Analisis pada sampel batupasir Formasi Bojongmanik menunjukkan adanya semen silika yang mengisi pori-pori yang terbentuk akibat proses pelarutan sebelumnya (**Gambar 6**).



Gambar 6. Fase Sementasi Yang Terjadi Pada Sampel Batuan a)Tmbs_1 b)Tmbs_2 c)Tmbs_3 d)Tmbs_ 4 e)Tmbs_5 f)Tmbs_6 g)Tmbs_7 h)Tmbs_8 i)Tmbs_9 j)Tmbs_10 (Perbesaran 10x Okuler & 4x Objektif)

3.2.4. Fase Authigenesis

Selama proses diagenesis, terjadi pembentukan mineral baru yang disebut mineral authigenik. Mineral ini terbentuk secara in situ pada batuan sedimen, berbeda dengan mineral detrital yang diangkut dari tempat lain. Pada sampel batupasir Formasi Bojongmanik, ditemukan mineral oksida besi dan mineral *opaque* yang terbentuk di atas butiran kuarsa (**Gambar 7**). Posisi mineral-mineral authigenik ini mengindikasikan bahwa sampel batupasir tersebut pernah mengalami pengangkatan (*lifting*) dan terpapar oleh air meteorkik, yang menyebabkan terjadinya proses oksidasi.



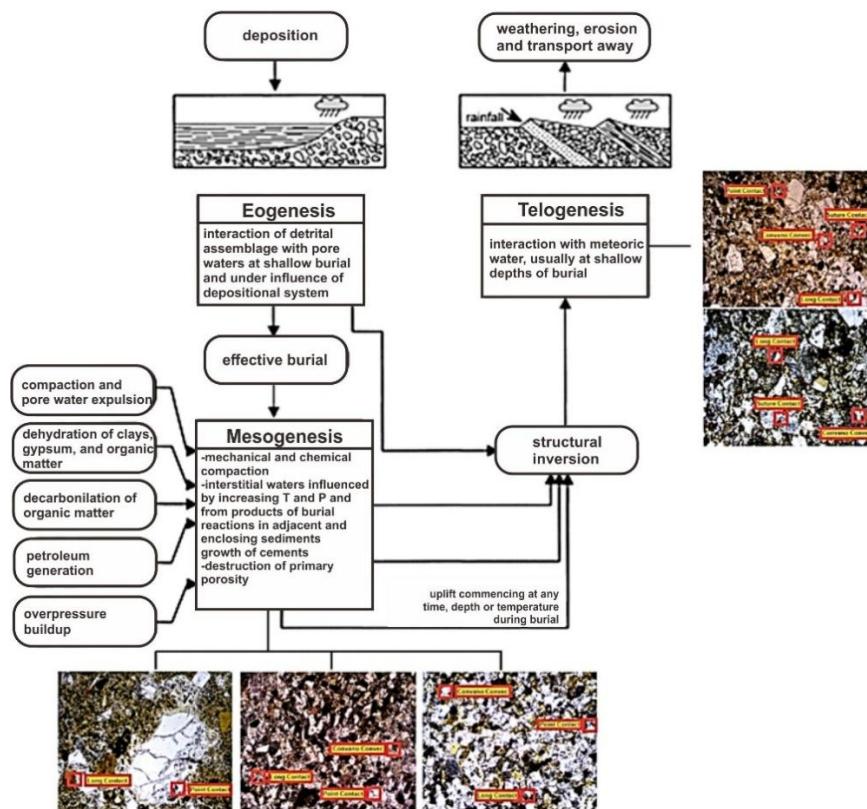
Gambar 7. Fase Authigenesis Yang Terjadi Pada Sampel Batuan a)Tmbs_1 b)Tmbs_2 c)Tmbs_3 d)Tmbs_ 4 e)Tmbs_5 f)Tmbs_6 g)Tmbs_7 h)Tmbs_8 i)Tmbs_9 j)Tmbs_10 (Perbesaran 10x Okuler & 4x Objektif)

Analisis petrografi menunjukkan adanya mineral lempung yang terbentuk akibat alterasi pada kuarsa di sampel Tmbs_2 (**Gambar 7**). Pada sampel Tmbs_3, Tmbs_5, dan Tmbs_7, ditemukan mineral *opaque* yang terbentuk di atas butiran kuarsa, sedangkan pada sampel Tmbs_4 dan Tmbs_10, mineral *opaque* dan oksida besi ditemukan pada feldspar. Distribusi mineral authigenik ini mengindikasikan bahwa sampel batupasir tersebut pernah mengalami pengangkatan (*lifting*) dan terpapar oleh air meteorik, yang menyebabkan terjadinya proses alterasi dan oksidasi (**Gambar 7**).

3.2. Tahap Diagenesis

Pada bagian tahapan diagenesis yang terjadi di daerah penelitian pada sampel batupasir Formasi Bojongmanik, Anggota Batupasir berdasarkan tahap menurut Burley & Worden (2003) adalah tahap eogenesis, mesogenesis, dan telogenesis (*uplifting*) (**Gambar 8**). Berdasarkan gambar tersebut, pada batupasir Formasi Bojongmanik, Anggota Batupasir proses diagenesis yang terjadi diawali pada tahap eogenesis. Pada tahap ini terjadi pembentukan Formasi Bojongmanik, Anggota Batupasir pada kala miosen Tengah dan terendapkan pada lingkungan transisi hingga neritic tepi (Atthoriq & Rochmana, 2024). Pada tahap ini terjadi kompaksi material material endapan sedimen, penyusunan material sedimen, pelarutan mineral hingga terjadi proses sedimentasi awal pada lapisan tersebut (Boggs, 2005).

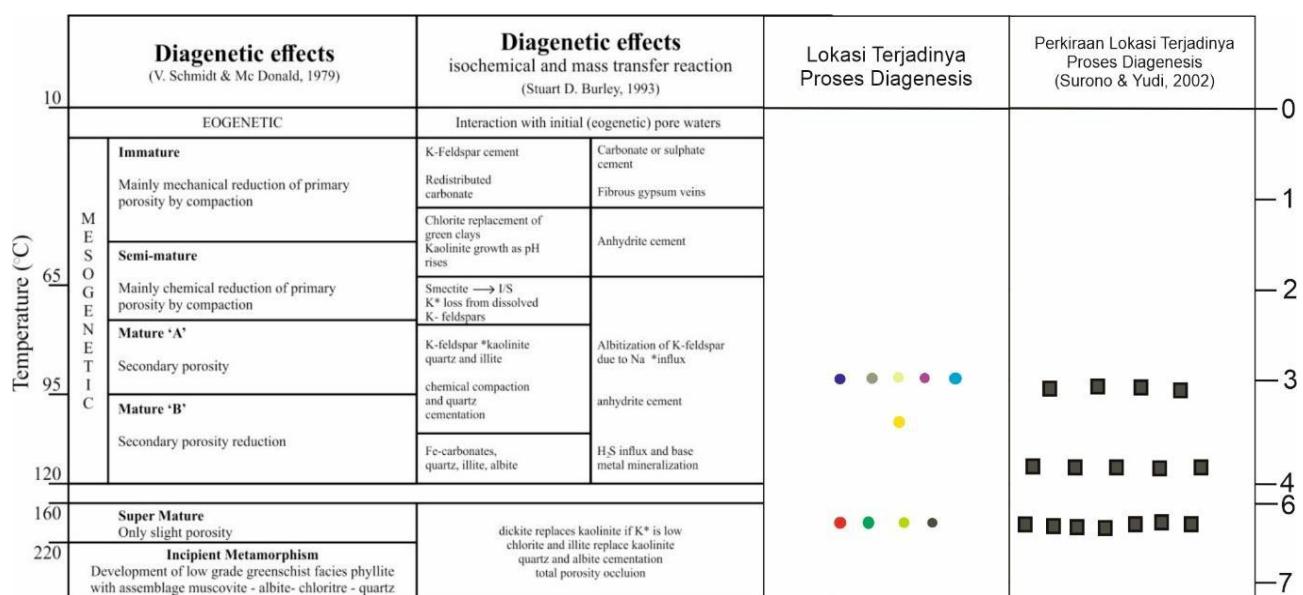
Tahapan selanjutnya adalah tahap mesogenesis, yang berada di sampel Tmbs_2, Tmbs_4, Tmbs_5, Tmbs_6, Tmbs_8, dan Tmbs_10. Pada tahapan ini terjadi pembebanan oleh lapisan baru diatas lapisan yang telah mengalami proses eogenesis atau terjadinya tahap mesogenesis (penimbunan). Pada tahap ini dicirikan adanya proses kompaksi, pelarutan mineral dan sedimentasi. Pada saat proses kompaksi terjadi di batupasir Formasi Bojongmanik, Anggota Batupasir, menghasilkan kontak antar butir mineral berupa *point contact*, *long contact* dan *concave-convex contact*. Pada proses pelarutan, terbentuk rongga rongga antar fragmen mineral yang kemudian akan diisi pada proses sementasi dan membentuk porositas sekunder. Pada tahap telogenesis yang berada di sampel Tmbs_1, Tmbs_3, Tmbs_7, dan Tmbs_9 ditandai dengan terjadinya pengangkatan (*uplifting*) yang kemudian menyebabkan terbentuknya semen oksidasi besi dan terbentuknya mineral authigenik. Tahap ini pada Formasi Bojongmanik, Anggota Batupasir disebabkan oleh karena adanya aktifitas tektonisme pada kala miosen akhir sehingga menyebabkan terbentuknya Sesar Normal Bojongmanik, Lipatan Antiklin Bojongmanik dan Lipatan Sinklin Bojongmanik pada daerah penelitian. Hal ini dikarenakan kompaksi yang kuat dicirikan ditemukan kontak antar butir berjenis *point contact*, *long contact*, *suture contact*, *concave-convex contact*. Selain itu, karena adanya air meteorik sehingga kandungan ion pada batuan bereaksi dan menghasilkan oksidasi besi serta mineral lempung.



Gambar 8. Tahap Tahap Diagenesis Daerah Penelitian Berdasarkan Burley & Worden (2003)

Berdasarkan klasifikasi Schmidt & Mc. Donald (1979) dan Burley & Worden (2003), Daerah Leuwidamar dibagi menjadi tiga jenis diagenetik (**Gambar 9**). Yang pertama adalah jenis klasifikasi *Mature A* yang terdiri dari sampel Tmbs_4, Tmbs_5, Tmbs_6, Tmbs_8, dan Tmbs_10. Pada jenis klasifikasi ini memiliki suhu berkisar antara 80° hingga 95° C dan kedalaman berkisar antara 2,5 hingga 3 km bawah permukaan. Hal ini diinterpretaskan pada tahap ini terdapat kontak antar butir mineral *point contact, long contact dan concave-convex contact* yang membuktikan bahwa terjadi kompaksi secara kuat, pelarutan mineral terjadi dan rongga rongga terisi oleh semen silika serta terjadi fase authigenesis pada lokasi penelitian ini. Pada tahap ini nilai porositas batuan tergolong tinggi hal ini dibuktikan pada saat dilakukan pengamatan secara mikroskopis sortasi batuan tergolong *well sorted*. Yang kedua adalah jenis klasifikasi *Mature B* yang terdapat di sampel Tmbs_2. Pada jenis klasifikasi ini memiliki suhu berkisar antara 100° hingga 120° C dan kedalaman berkisar 3,5 km bawah permukaan. Hal ini diinterpretasikan pada tahap ini terdapat kontak antar butir mineral *point contact, long contact, suture contact dan concave-convex contact* yang membuktikan bahwa terjadi kompaksi yang sangat kuat, pelarutan mineral terjadi dan rongga rongga terisi oleh semen silika serta terjadi fase authigenesis. Pada tahap ini nilai porositas batuan telah mengalami penurunan hal ini dibuktikan pada saat dilakukan pengamatan secara mikroskopis sortasi batuan tergolong *moderately sorted*. Yang ketiga adalah jenis klasifikasi *Super Mature* yang terdapat di sampel Tmbs_1, Tmbs_3, Tmbs_7, dan Tmbs_9. Pada jenis klasifikasi ini memiliki suhu berkisar antara 160° hingga 220° C dan kedalaman berkisar 6 km bawah permukaan. Hal ini diinterpretasikan pada tahap ini terdapat kontak antar butir mineral *point contact, long contact, suture contact dan concave-convex contact* yang membuktikan bahwa terjadi kompaksi yang sangat kuat, pelarutan mineral terjadi dan rongga rongga terisi oleh semen silika serta terjadi fase authigenesis dan terjadi fase telogenesis (*uplifting*) pada lokasi penelitian ini. Pada tahap ini nilai porositas sedikit hal ini dibuktikan pada saat dilakukan pengamatan secara mikroskopis sortasi batuan tergolong *very poorly sorted*.

Berdasarkan hasil analisis diagenesis pada sepuluh sampel penelitian Formasi Bojongmanik, Anggota Batupasir terjadi proses eogenesis, mesogenesis dan telogenesis dengan suhu berkisar antara 80° hingga 220°C dan kedalaman berkisar antara 2,5 hingga 6 km bawah permukaan. Pada batupasir Formasi Bojongmanik, Anggota Batupasir memiliki tingkat kematangan *Mature A* hingga *Super Mature* berdasarkan klasifikasi Schmidt & Mc. Donald (1979) dan Burley & Worden (2003). Adapun dari hasil plotting dapat disimpulkan bahwa kesepuluh sampel yang telah dilakukan analisis diagenesis memiliki karakteristik kedalaman serta suhu yang bervariasi. Pada analisis petrografi komposisi mineral yang didapatkan relatif sama. Hal ini diinterpretasikan bahwa daerah penelitian dipengaruhi oleh aktivitas tektonisme hampir merata pada Kala Miosen Akhir yang mana membentuk struktur geologi sesar normal, lipatan antiklin dan lipatan sinklin sehingga keterbentukan proses diagenesis batuan pada semua sampel relatif sama.



Keterangan:

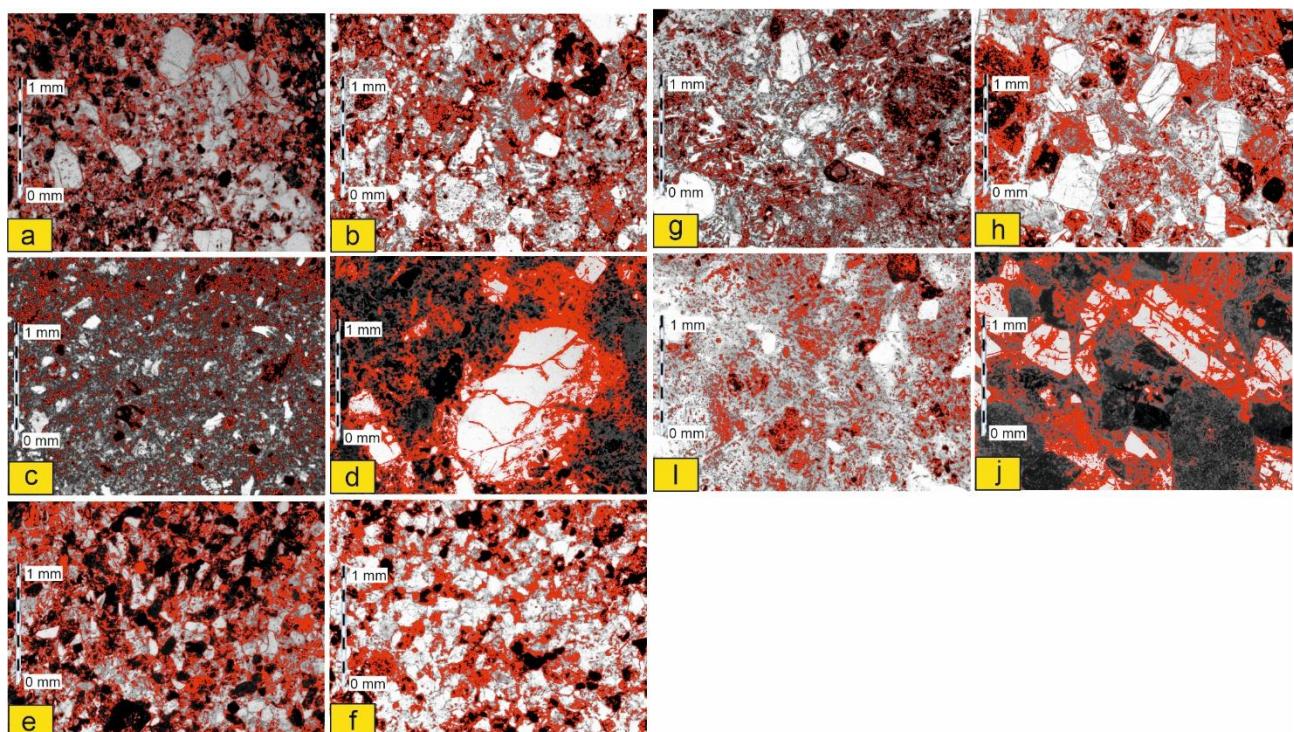
- LP 1
- LP 2
- LP 3
- LP 4
- LP 5
- LP 6
- LP 7
- LP 8
- LP 9
- LP 10
- Titik Plot Sampel 1-16

Gambar 9. Perkiraan Perbandingan Tingkat Kematangan Diagenesis batupasir Formasi Bojongmanik Daerah Penelitian Dan Batupasir Formasi Bojongmanik (Surono & Rahayudin, 2002).

Pada batupasir Formasi Bojongmanik, Anggota Batupasir yang diteliti oleh Surono & Rahayudin (2002) di daerah Cisemuet ditemukan kesamaan dalam proses diagenesis dengan daerah Leuwidamar (**Gambar 9**). Pada Formasi Bojongmanik terdapat tiga tipe genesa yang mempengaruhi pembentukannya yaitu fase kompaksi, sementasi, disolusi dan ubahan (*replacement*). Pada tahap kompaksi ditemukan kontak *floating*, *point*, *long*, *concave-convex* dan *suture* pada batupasir semakin peningkatan kedalaman maka semakin besar pula perubahan *long contact* dan *concave-convex contact* berubah menjadi *suture contact*. Pada tahap ubahan batupasir Formasi Bojongmanik terlihat adanya beberapa perubahan pada mineral feldspar oleh mineral lempung dan kalsit. Pada tahap sementasi, semen kalsit dan oksidasi besi merupakan dua jenis semen yang sangat mendominasi pembentukan batupasir. Semen oksidasi besi mengindikasikan bahwa sementasi oksidasi besi sekunder terjadi setelah fase kompaksi (Surono, 1997) (Surono & Rahayudin, 2002). Berdasarkan penjelasan tersebut diagenesis batupasir Formasi Bojongmanik berada pada tahap akhir diagenesis atau zona telogenesia (Burley & Worden, 2009) atau tahap 6 (Pettijohn et al., 1973). Tahap diagenesa terjadi karena adanya proses lifting ke permukaan dan mengalami proses erosi serta pada tahap ini dijumpai pembentukan oksidasi besi (Surono & Rahayudin, 2002).

3.3. Kontrol Diagenesis Terhadap Porositas Batupasir Formasi Bojongmanik, Anggota Batupasir

Karakteristik porositas batupasir merupakan hasil dari proses pengendapan dan pasca pengendapan. Tekstur batupasir, terutama sortasi butir, berperan penting dalam menentukan ruang pori yang tersedia. Proses-proses fisik dan kimia pasca pengendapan juga memberikan kontribusi terhadap perkembangan porositas. Besar kecilnya porositas batupasir dipengaruhi oleh persentase material detrital dan proses diagenetik (Rochmana et al., 2025). Untuk menjadi reservoir yang baik, batupasir harus memiliki porositas yang cukup untuk mengakomodasi akumulasi minyak dan gas bumi (Sunarta et al., 2024). Implikasi kualitas porositas terhadap potensi sebagai batuan reservoir akan menunjukkan semakin tinggi nilai kualitas porositas batuan maka potensi batuan menjadi reservoir akan semakin besar dan sebaliknya jika kualitas porositas batuan maka potensi sebagai batuan reservoir akan berkurang pula. Dalam melakukan pengujian nilai porositas pada sampel batupasir Formasi Bojongmanik, Anggota Batupasir digunakan *software ImageJ* untuk mendapatkan luas area porositas. Nilai porositas suatu batuan dipengaruhi oleh faktor kompaksi, pelarutan dan sementasi serta sortasi batuan (**Gambar 10**).



Gambar 10. Hasil Porositas Pada Sampel a) Tmbs_1 b) Tmbs_2 c) Tmbs_3 d) Tmbs_4 e) Tmbs_5 f) Tmbs_6 g) Tmbs_7 h) Tmbs_8 i) Tmbs_9 j) Tmbs_10

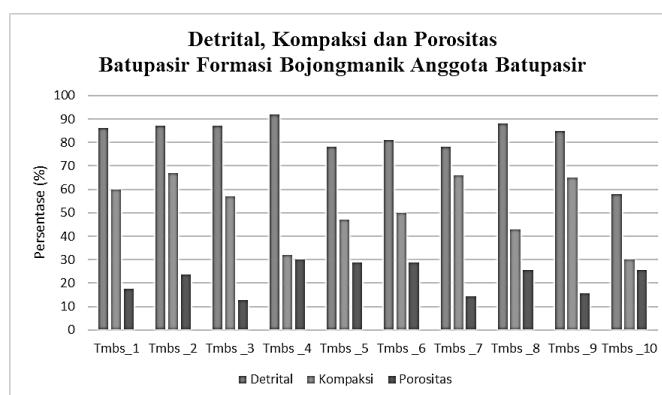
Tingginya kandungan semen dalam batuan menyebabkan penurunan porositas akibat terisinya ruang antar butir oleh semen. Proses pelarutan, di sisi lain, meningkatkan porositas melalui pembentukan ruang pori baru. Kompaksi yang kuat

juga mengurangi porositas karena butiran sedimen saling mendekat dan ruang antar butir berkurang. Analisis persentase nilai porositas menghasilkan data seperti yang tertera pada **Tabel 3**.

Tabel 3. Nilai Porositas Batupasir Formasi Bojongmanik, Anggota Batupasir

Lokasi Pengamatan	Kode Sampel	Persentase Porositas	Nama Batuan (Pettijhon, 1975)	Keterangan (Koesoemadinata, 1980)
LP 1	Tmbs_1	17,5 %	<i>Litchic Wacke</i>	Baik
LP 2	Tmbs_2	23,6 %	<i>Litchic Arenite</i>	Sangat Baik
LP 3	Tmbs_3	12,8 %	<i>Litchic Wacke</i>	Cukup
LP 4	Tmbs_4	30,1 %	<i>Feldspathic Arenite</i>	Istimewa
LP 5	Tmbs_5	28,8 %	<i>Lithic Arenite</i>	Istimewa
LP 6	Tmbs_6	28,8 %	<i>Lithic Arenite</i>	Istimewa
LP 7	Tmbs_7	14,5 %	<i>Litchic Wacke</i>	Cukup
LP 8	Tmbs_8	25,7 %	<i>Lithic Arenite</i>	Istimewa
LP 9	Tmbs_9	15,6 %	<i>Litchic Wacke</i>	Baik
LP 10	Tmbs_10	25,6 %	<i>Feldspathic Arenite</i>	Istimewa

Berdasarkan analisis persentase nilai porositas pada batupasir Formasi Bojongmanik, Anggota Batupasir di daerah Leuwidamar, sampel yang memiliki nilai porositas istimewa (> 25%) yaitu Tmbs_4, Tmbs_5, Tmbs_6, Tmbs_8, dan Tmbs_10 dengan rentang nilai porositas 25,6% hingga 30,1% (Gambar 11). Selanjutnya, pada sampel yang memiliki nilai porositas sangat baik (20% - 25%) yaitu Tmbs_2 dengan nilai porositas 23,6%. Sampel yang memiliki nilai porositas baik (15% - 20%) yaitu Tmbs_1 dan Tmbs_9 dengan rentang nilai porositas 15,6% hingga 17,5%. Terakhir, sampel yang memiliki nilai porositas cukup (10% - 15%) yaitu Tmbs_3 dan Tmbs_7 dengan rentang nilai porositas 12,8% hingga 14,5%. Pada daerah Leuwidamar setelah dilakukan analisis persentase nilai porositas terlihat adanya penurunan nilai porositas yang ditunjukkan dengan nilai porositas terbesar 30,1% dan nilai porositas terkecil 12,8%. Keterdapatannya perbedaan nilai porositas ini dipengaruhi salah satunya oleh sortasi batuan. Sortasi pada sampel batupasir di Daerah Leuwidamar menunjukkan *well sorted*, *moderately sorted*, *poorly sorted*, dan *very poorly sorted*. Berdasarkan hal tersebut, batupasir yang memiliki sortasi yang baik (*well sorted*) akan memiliki persentase nilai porositas yang tinggi, sedangkan persentase nilai porositas akan semakin berkurang jika sortasi batuan tersebut sangat buruk (*very poorly sorted*). Nilai porositas pada sampel batuan dipengaruhi oleh komposisi detrital dan proses diagenesis yang terjadi. Persentase detrital didapatkan dari jumlah komposisi fragmen dan matriks pada analisis petrografi. Sedangkan persentase kompaksi didapatkan dari fase kompaksi yang terjadi selama proses diagenesis berlangsung. Berdasarkan grafik persentase tersebut terlihat bahwa persentase detrital dan kompaksi yang terjadi mempengaruhi nilai porositas batuan (Gambar 11).



Gambar 11. Grafik Persentase Detrital, Kompaksi dan Porositas

Berdasarkan grafik hubungan porositas dan detrital, semakin tinggi persentase detrital pada sampel tersebut maka semakin kecil nilai porositas batuan tersebut. Hal ini dikarenakan semakin banyaknya fragmen dan matriks maka akan menutupi ruang pori. Pada grafik hubungan porositas dan kompaksi, semakin tinggi proses diagenesis yang terjadi (dalam hal ini berupa kompaksi) maka nilai porositas akan semakin menurun. Hal ini dikarenakan jika fase kompaksi semakin tinggi maka akan berada ditahap telogenesia yang mengakibatkan nilai porositas semakin berkurang (**Gambar 12**).



Gambar 12. a) Hubungan Persentase Detrital dan Porositas b). Hubungan Porositas dan Kompaksi

Dari hasil analisis diagenesis dan porositas diketahui bahwa diagenesis memiliki kontrol terhadap nilai porositas. Pada Daerah Leuwidamar batupasir Formasi Bojongmanik, Anggota Batupasir itu mengalami fase diagenesis (fase kompaksi, fase pelarutan, fase sementasi dan fase autogenesis) dan termasuk ke dalam tahap mesogenesis dan telogenesia. Hal ini serupa dengan penelitian yang dilakukan sebelumnya oleh Surono & Rahayudin (2002) di daerah Cisemuet berada pada tahap mesogenesis yang dibuktikan memiliki fase diagenesis kompaksi (*point contact, long contact, concave-convex, and sutere contact*), fase pelarutan, fase sementasi (semen kalsit dan oksidasi besi) dan fase autogenesis (feldspar menjadi mineral lempung) serta berada pada tahap telogenesia yang dibuktikan dengan adanya proses pengangkatan pada formasi Bojongmanik dan mengalami proses erosi. Pada daerah Leuwidamar didapatkan pada ke 10 sampel batuan lima sampel yang memiliki nilai porositas Istimewa (Tmbs_4, Tmbs_5, Tmbs_6, Tmbs_8 dan Tmbs_10), porositas sangat baik satu sampel (Tmbs_2), porositas baik dua sampel (Tmbs_1 dan Tmbs_9), dan porositas cukup dua sampel (Tmbs_3 dan Tmbs_7). Berdasarkan data yang didapatkan sampel Tmbs_4 yang berada pada tahap mesogenesis memiliki nilai porositas istimewa, nilai porositas yang besar ditemukan pada sampel Tmbs_4 tidak lepas dari pengaruh kontrol diagenesis. Hal ini dikarenakan dekat dengan sesar Bojongmanik sehingga mengakibatkan terbentuknya *secondary porosity* berupa *fracture porosity* dan menyebabkan rongga rongga antar mineral terbentuk. Sedangkan pada sampel Tmbs_3 memiliki nilai porositas cukup, hal ini dikarenakan Tmbs_3 berada pada tahap telogenesia yang telah mengalami proses pengangkatan dibuktikan dengan ditemukannya *suture contact* pada pengamatan mikroskopis. Sehingga semakin besar proses diagenesis yang terjadi maka nilai porositas semakin rendah dan semakin kecil proses diagenesis maka nilai porositas semakin besar.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan analisis petrografi yang dilakukan, batupasir Formasi Bojongmanik, Anggota Batupasir terdiri atas *lithic arenite*, *feldspathic arenite*, dan *lithic wacke*. Fase diagenesis pada batupasir Formasi Bojongmanik Anggota Batupasir yaitu fase kompaksi yang didapatkan jenis kontak antar mineral berupa *point contact, long contact, suture contact* dan *concave-convex contact*. Pada fase pelarutan terlihat adanya mineral lempung yang menghasilkan porositas sekunder. Fase sementasi memperlihatkan semen silika mengisi rongga rongga yang dihasilkan pada saat fase pelarutan. Fase authigenesis terjadi keterbentukan mineral *opaque* di atas mineral kuarsa dan feldspar, terbentuknya oksidasi besi akibat adanya reaksi terhadap air meteorik, serta terbentuknya mineral lempung di atas mineral feldspar akibat adanya pelapukan. Pada tahapan diagenesis, di daerah penelitian terdapat tiga tahap yaitu tahap eogenesis, mesogenesis dan telogenesia. Tahap eogenesis terjadi pengendapan pertama Formasi Bojongmanik, Anggota Batupasir. Kemudian pada tahap mesogenesis terjadi proses kompaksi, pelarutan, sementasi dan authigenesis pada kedalaman 2,5 sampai 6 km dan suhu yang berkisar antara 80° hingga 220°C. Pada fase telogenesia terjadi pengangkatan akibat adanya aktivitas tektonisme pada kala miosen akhir yang mengakibatkan terbentuknya sesar normal, lipatan antiklin dan lipatan sinklin di daerah penelitian. Pada tahapan diagenesis didapatkan tiga tingkat kematangan batuan tersebut yaitu *Mature A*, *Mature B*, dan *Super Mature*. *Mature A* yang terdiri Tmbs_4, Tmbs_5, Tmbs_6, Tmbs_8 dan Tmbs_10 pada tahap ini nilai porositas batuan tergolong tinggi. *Mature B* yang terdapat di Tmbs_2 pada tahap ini nilai porositas batuan telah mengalami penurunan (*reduced*). *Super Mature* yang terdapat di Tmbs_1, Tmbs_3, Tmbs_7, dan Tmbs_9 pada tahap ini nilai porositas batuan tergolong sedikit. Sampel yang memiliki nilai porositas Istimewa (> 25%) yaitu Tmbs_4, Tmbs_5,

Tmbs_6, Tmbs_8, dan Tmbs_10 dengan rentang nilai porositas 25,6% hingga 30,1%. Selanjutnya, pada sampel yang memiliki nilai porositas sangat baik (20% - 25%) yaitu Tmbs_2 dengan nilai porositas 23,6%. Sampel yang memiliki nilai porositas baik (15% - 20%) yaitu Tmbs_1 dan Tmbs_9 dengan rentang nilai porositas 15,6% hingga 17,5%. Dan sampel yang memiliki nilai porositas cukup (10% - 15%) yaitu Tmbs_3 dan Tmbs_7 dengan rentang nilai porositas 12,8% hingga 14,5%.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Pemerintah Daerah Kecamatan Leuwidamar, Kecamatan Cipanas dan Kecamatan Bojongmanik yang telah mengizinkan terlaksana penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Atthoriq, M. H., & Rochmana, Y. Z. (2024). Rekonstruksi Sejarah Geologi Berdasarkan Analisis Stratigrafi Daerah Leuwidamar dan Sekitarnya, Kabupaten Lebak, Provinsi Banten. *OPHIOLITE: Jurnal Geologi Terapan*, 6(2), 42–52. <https://doi.org/10.56099/ophi.v6i2.p42-52>
- Basuki, N. I., & Wiyoga, D. S. A. (2012). Diagenetic Pattern in the Citarate Carbonate Rocks, Cilograng Area, Lebak Regency, Banten Provincbutirane Pola Diagenetik pada Batuan Karbonat Citarate, Daerah Cilograng, Kabupaten Lebak, Provinsi Banten. *Indonesian Journal of Geology*, 7(3), 137–144. <https://doi.org/DOI:10.17014/ijog.v7i3.142>
- Beard, D. C., & Weyl, P. K. (1973). Influence of Texture on Porosity and Permeability of Unconsolidated Sand. *The American Association of Petroleum Geologists Bulletin* V, 57(2), 349–369.
- Boggs, S. Jr. (2005). *Petrology of Sedimentary Rocks*. Macmillan Publishing Company. New York.
- Burley, S. D., & Worden, R. H. (2009). *Sandstone diagenesis : recent and ancient*. Blackwell Pub.
- Gibrani, A. K., Kusworo, A., Wahyudiono, J., & urwasatriya, E. B. (2022). Proses Diagenesis Batupasir Formasi Kanikeh, Seram Bagian Timur, Maluku, Indonesia. *Jurnal Geologi Dan Sumberdaya Mineral*, 23(2), 113–122. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.33332/jgsm.geologi.v23.2.113-122>
- Jin, Z., Yuan, G., Zhang, X., Cao, Y., Ding, L., Li, X., & Fu, X. (2023). Differences of tuffaceous components dissolution and their impact on physical properties in sandstone reservoirs: A case study on Paleogene Wenchang Formation in Huizhou-Lufeng area, Zhu I Depression, Pearl River Mouth Basin, China. *Petroleum Exploration and Development*, 50(1), 111–124. [https://doi.org/10.1016/S1876-3804\(22\)60373-2](https://doi.org/10.1016/S1876-3804(22)60373-2)
- Leitner, C., Gross, D., Friedl, G., Genser, J., & Neubauer, F. (2020). Sandstone diagenesis in a halite deposit, from surface to high-grade diagenesis (Haselgebirge Formation, Eastern Alps). *Sedimentary Geology*, 399. <https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2020.105614>
- Mustaqim, M. R., Rochmana, Y. Z., & Hastuti, E. W. D. (2023). Analisis Tahapan Diagenesis Pada Batupasir Formasi Talang Akar Daerah Airbatu dan Sekitarnya, Kabupaten Banyuasin Sumatera Selatan. *Journal of Geology Sriwijaya*, 2(1), 11–23. <https://doi.org/10.62932/jgs.v2i1.1658>
- Niegel, S., & 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. <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2023.106157>
- Pettijohn, F. J., Potter, P. E., & Siever, R. (1987). Sand and Sandstone. In *Sand and Sandstone*. Springer New York. <https://doi.org/10.1007/978-1-4612-1066-5>
- Rochmana, Y. Z., Jati, S. N., Puspita, M., Idarwati, I., & Pranata, R. (2025). Diagenetic Controls on Porosity in Sandstones of the Talang Akar Formation: A Case Study from the Rambangnia River Track, South OKU, South Sumatra. *Jurnal IPTEK*, 29(1), 59–68. <https://doi.org/10.31284/j.iptek.2025.v29i1.6746>
- Sani, Y., Astuti, T. P., & Indra, T. L. (2023). Limestone Diagenesis in the Bojongmanik Formation Based on Petrographic Analysis. *Jurnal Geosains Terapan*, 6(1), 49–61. <https://geosainsterapan.id/index.php/id/article/view/106>
- Santy, L. D. (2014.). *Diagenesis Batupasir Eosen Di Cekungan Ketungau Dan Malawi, Kalimantan Barat*. <https://doi.org/https://doi.org/10.33332/jgsm.geologi.v15i3.52>

- Schmidt, V., & McDonald, D. A. (1979). *The role of secondary porosity in the course of sandstone diagenesis*. Aspects of Diagenesis. Spec. Publs Soc. Econ. Miner. Paleont., Tulsa, 26, 175-207.
- Setyabudi, R., & Sutriyono, D. E. (2019). Diagenesis Batupasir Pada Formasi Menggala Daerah Lubuk Alai Dan Sekitarnya, Kabupaten Kapur Ix, Sumatera Barat. In *Seminar Nasional AVoER XI*. 2019: Prosiding AVoER XI Tahun 2019
- Subandi. A., Pamungkas.H. S. T., & Ridwansyah. I. (2023). Geologi Daerah Gunungkendeng Dan Sekitarnya Kecamatan Gunungkencana Kabupaten Lebak Provinsi Banten. Jurnal Online Mahasiswa, 1 (1), 1-12.
- Sujatmiko dan Santosa. 1992. *Peta Geologi Lembar Leuwidamar, Jawa, Skala 1:100.000*. Bandung: Peta Geologi Bersistem Indonesia. Pusat Penelitian dan perkembangan Geologi.
- 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.
- Surono, & Rahayudin, Y. (2002.). *Provenan Dan Diagenesa Satuan Batupasir Formasi Bojongmanik, Jawa Barat, Indonesia*.IAGI v.17 (1&2), 43-58
- Syahrulyati.T., V. Isnaniawardhani., M.F. Rosana, & Winantis. 2020. Bojongmanik Formation Sedimentation Mechanism in the Middle to Late Miocene (N9-N17) in the Rangkasbitung Basin, *Scientific Contributions Oil and Gas*, 43 (3) pp. 115-123. <https://doi.org/10.29017/SCOG.43.3.551>
- Utami, D. A., & Cahyarini, S. Y. (2017). Diagenetic screening in porites fossil corals from South Pagai, Kendari, and Banten Bay, Indonesia. *Journal of Engineering and Technological Sciences*, 49(1), 1–5. <https://doi.org/10.5614/j.eng.technol.sci.2017.49.1.1>