

BAB V

ANALISIS KUALITAS BATUGAMPING

Batugamping memiliki kandungan CaCO_3 yang relatif melimpah yakni > 90% dan dengan kandungan sebesar itu sangat cocok digunakan sebagai bahan baku semen, namun terdapat parameter lain yang dapat mempengaruhi kualitas dari batugamping untuk bahan baku semen. Untuk mengetahui kualitas batugamping dapat ditentukan dengan tiga parameter, yaitu parameter fisik meliputi fasies batugamping, parameter diagenesa batugamping dan parameter kimia dari unsur unsur yang terkandung didalam batugamping, sehingga didapatkan kualitas batugamping dan hal hal yang mempengaruhi kualitas batugamping itu sendiri.

5.1 Parameter Fisik Batugamping

Berdasarkan pengamatan fisik dapat ditentukan dengan penentuan fasies batugamping yang dapat diamati di lapangan secara megaskopis dan pengamatan batuan secara mikroskopis

5.1.1 Fasies Batugamping

Fasies batugamping didaerah penelitian dibagi menjadi dua yaitu fasies Foraminiferal packstone dan Coral packstone

5.1.1.1 Fasies Foraminiferal Packstone

Pada peta persebaran fasies batugamping, batugamping fasies foraminiferal packstone ditandai dengan warna biru tua (**Lampiran 13**), persebarannya berkisar 70% dari keseluruhan daerah studi khusus dan berada di bagian barat daerah studi khusus.

Secara makroskopis batuan pada fasies ini memiliki karakteristik fisik berupa warna putih kecoklatan, hanya beberapa bagian singkapan memperlihatkan perlapisan batuan pada singkapan fasies ini (**Gambar 5.1**). Penamaan fasies Foraminiferal packstone didapatkan dari dominasi fragmen foraminifera yang terdapat di beberapa sayatan yang mewakili daerah tersebut. Deskripsi sampel batuan berwarna putih hingga putih kecoklatan, bersifat karbonatan kuat, kompaksi baik, memiliki tekstur dengan besar butir pasir sedang hingga pasir

kasar, bentuk butir menyudut tanggung, keseragaman sedang, kemas terbuka. Struktur batuan masif dan sedikit berongga dengan komposisi mineral berupa skeletal terumbu, kuarsa dan pengotor silika akibat pelarutan. (**Gambar 5.2**).



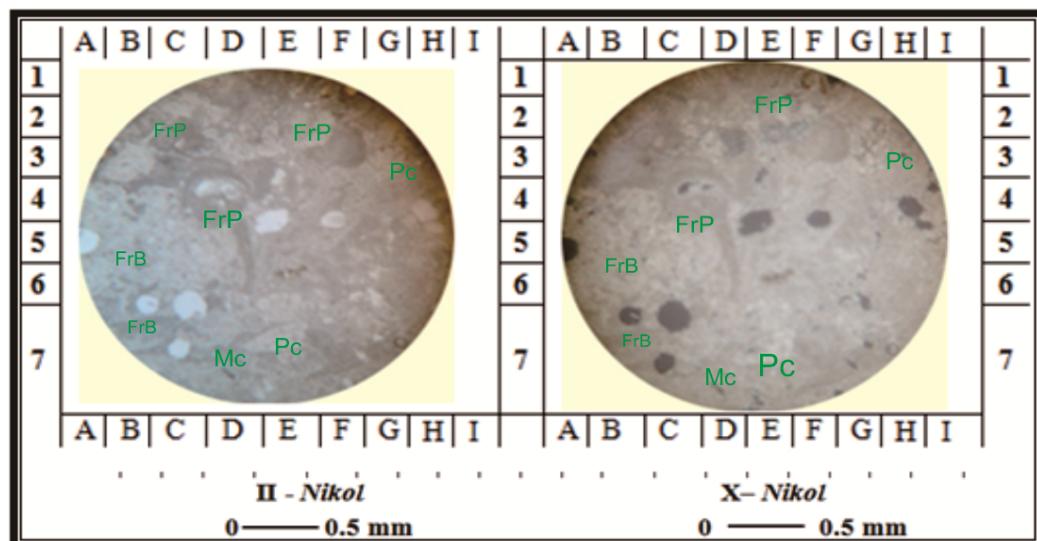
Gambar 5.1 Singkapan fasis Foraminiferal packstone pada lokasi pengamatan STA R.11.02.



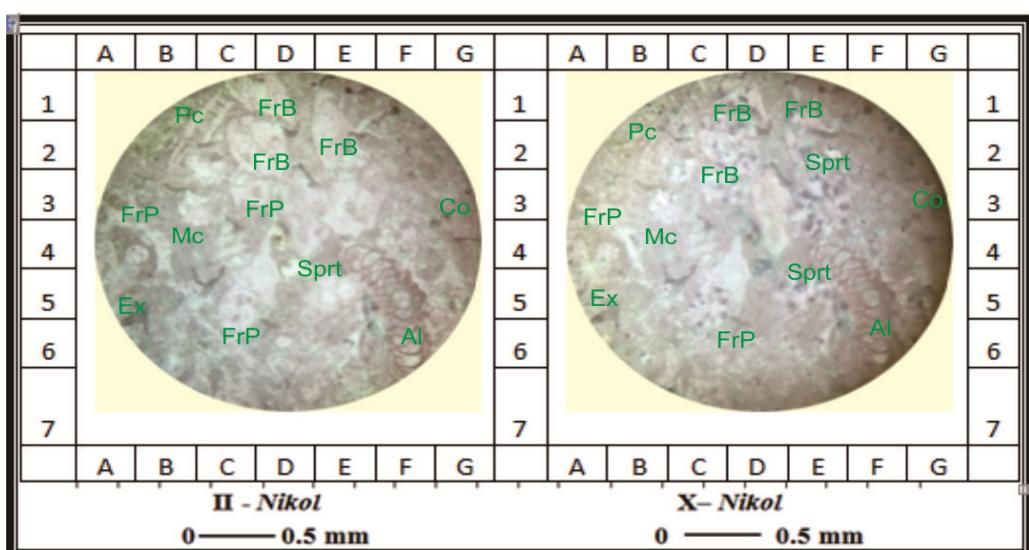
Gambar 5.2 Sampel batugamping Foraminiferal packstone pada lokasi pengamatan STA R.11.02.

Pada fasies ini dilakukan analisis petrografi pada 6 sampel yaitu sampel sayatan SB (**Lampiran 7**), STA R11.07 (**Lampiran 8**), STA R11.04 (**Lampiran 9**), ST (**Lampiran 10**), B2 (**Lampiran 14**), dan STA R.11.02 (**Lampiran 15**). Secara petrografi fasies Foraminiferal packstone ini pada sayatan tipis memperlihatkan warna putih kecoklatan pada nikol sejajar dan berwarna keabuabuan pada nikol silang, memperlihatkan dominasi fragmen yang terdiri dari

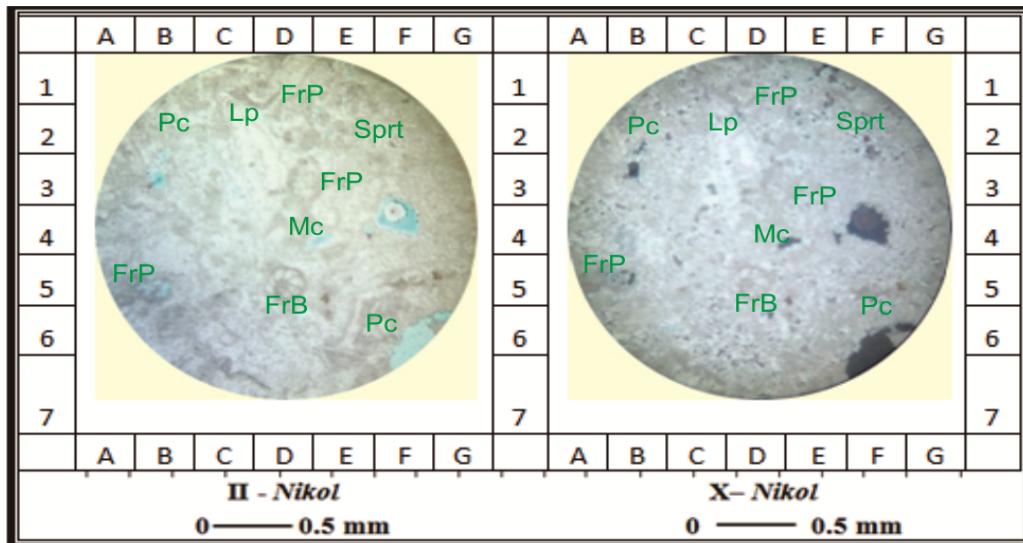
Ekstraklas (Ex), Foraminifera Benthonik (FrB), Foraminifera Planktonik (FrP), Lepidocyclina (Lc) dan pecahan fosil (Pc) dengan persentase fragmen berkisar 30% – 60%, terdapat mikrit (Mc) dengan warna abu abu dengan ukuran 1 - 4 mikron dengan persentase berkisar 15% - 40%. Fragmen dan mikrit diselimuti oleh semen karbonat (Sprt) dengan persentase berkisar 15% - 25%. Dan dapat diinterpretasikan dengan nama Packstone (Dunham 1962). Berikut adalah kenampakan petrografi pada lokasi penelitian STA R 11.04 (**Gambar 5.3**), STA.R.11.02 (**Gambar 5.4**), dan STA.R.11.07 (**Gambar 5.5**).



Gambar 5.3 Kenampakan petrografis Foraminiferal packstone pada lokasi pengamatan STA R.11.04.



Gambar 5.4 Kenampakan petrografis Foraminiferal packstone pada lokasi pengamatan STA R.11.02.



Gambar 5.5 Kenampakan petrografis Foraminiferal packstone pada lokasi pengamatan STA R.11.07.

Berdasarkan ciri ciri tersebut fasies Foraminiferal packstone mempunyai lingkungan pengendapan *fore reef* (James, 1984)

Terdapat cangkang dari Foraminifera bentonik mengalami mikritisasi, ruang kamar dikelilingi oleh *mikrit* dan ada pula yang kamarnya tersemenkan oleh *mikrospar* kalsit. Fosil *Planorbulina larvata* (F5) hadir sebagai *bioklas* dan juga mengalami *mikritisasi mikrobial* (**Gambar 5.4**). Secara umum, bentuk semen yang teramat pada sayatan adalah *fibrous* dan *granular* yang dijumpai pada sayatan STA R.11.04, STA R.11.02 dan STA R.11.07. Untuk fasies Foraminiferal packstone terdapat porositas jenis *vug*, *interpartikel* pada keenam sayatan. Porositas *intrapartikel* pada sayatan STA R.11.04, STA R.11.07, porositas *fracture* pada sayatan STA R.11.07. Pada sampel STA R.11.04 dan STA R.11.02 terdapat kontak berupa *suture contact* dan *concave convex contact* yang menandakan telah terjadi pembebanan atau kompaksi pada lingkungan *shallow burial*. Pada keenam sample hanya sayatan STA R.11.02 yang memperlihatkan adanya proses *neophormisme* dimana terdapat *aggrading neophormisme* dan pada sayatan yang sama juga terdapat mineral dolomit dalam jumlah yang sedikit yang menginterpretasikan bahwa lokasi ini mengalami proses dolomitisasi pada zona *mixing zone*.

Pada keenam sampel sayatan tersebut, proses diagenesis yang teramat antara lain sementasi, mikritisasi mikrobial, *neophormisme*, dolomitisasi, kompaksi mekanik dan pelarutan.

5.1.1.2. Fasies Coral Packstone

Pada peta persebaran fasies batugamping, batugamping fasies *Coral Packstone* ditandai dengan warna biru tua, persebarannya berkisar 40 % dari keseluruhan daerah studi khusus dan berada di bagian selatan daerah studi khusus.

Secara makroskopis batuan pada fasies ini memiliki karakteristik fisik berupa warna putih hingga putih kecoklatan, tidak memperlihatkan perlapisan batuan dan memiliki rongga hasil pelarutan (**Gambar 5.6**). Penamaan batugamping fasies ini didapatkan dari dominasi butiran coral dan pecahan coral dibandingkan dengan kehadiran butiran foraminifera. Deskripsi sampel batuan berwarna putih hingga putih kecoklatan, bersifat karbonatan kuat, kompaksi baik, memiliki tekstur dengan besar butir pasir sedang hingga pasir kasar, bentuk butir menyudut tanggung, keseragaman sedang, kemas terbuka. Struktur batuan masif dan dominan berongga dengan komposisi mineral berupa skeletal terumbu, kuarsa dan pengotor silika akibat pelarutan. (**Gambar 5.7**).



Gambar 5.6 Singkapan fasies Coral packstone pada lokasi pengamatan STA R.11.06.

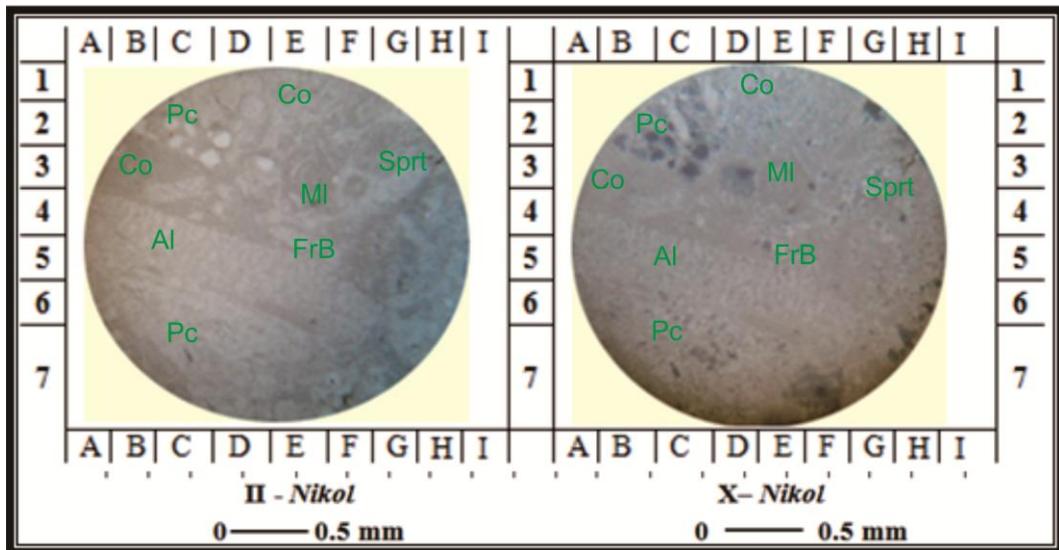


Gambar 5.7 Sampel batugamping fasies Coral packstone pada lokasi pengamatan STA R.11.06.

Pada fasies ini dilakukan analisis petrografi pada 4 sampel yaitu sampel sayatan UA1 (**Lampiran 11**), STA R.11.06 (**Lampiran 12**), UB (**Lampiran 13**), dan UA2 (**Lampiran 16**). Secara petrografi fasies Coral Packstone ini pada sayatan tipis memperlihatkan putih pucat sampai kecoklatan pada nikol sejajar dan berwarna keabuabuan pada nikol silang, memperlihatkan dominasi fragmen yang terdiri dari Coral (Co), Alga (Al), Foram Bentonik (FrB), Foram Planktonik (FrP), dan Lepidocyyclina (Lp) dengan persentase fragmen berkisar 35% – 50% , terdapat mikrit (Mc) dengan warna abu abu dengan ukuran 1 - 4 mikrometer dengan persentase matriks berkisar 15% - 30%. Fragmen dan mikrit diselimuti oleh semen karbonat atau sparit (Sprt) yang berwarna putih pucat yang mengikat fragmen dan mikrit dengan ukuran 5-15 mikro meter dengan persentase berkisar 15% - 30% (**Gambar 5.8**). Dan dapat diinterpretasikan dengan nama Packstone (Dunham, 1962).

Berdasarkan ciri ciri tersebut fasies Coral packstone mempunyai lingkungan pengendapan *Fore Reef* (James, 1984).

Terdapat cangkang dari pecahan koral mengalami mikritisasi, ruang kamar dikelilingi oleh mikrit dan terdapat juga koral yang ruang kamarnya diisi oleh mikrospar kalsit. Fosil Alga dan Foraminifera Bentonik dan pecahan koral hadir sebagai bioklas.



Gambar 5.8 Kenampakan petrografis batugamping Coral Packstone pada lokasi pengamatan STA R.11.06.

Secara umum, bentuk semen yang teramati pada sayatan Coral packstone adalah *blocky* dan *granular* yang dijumpai pada sayatan UB dan STA R.11.06. Untuk fasies *Coral Packstone* terdapat porositas jenis *vug*, *moldic*, *intergranular* pada sayatan UA1, UB, STA R.11.06. Pada sampel UB terdapat kontak berupa *concave convex contact* yang menandakan telah terjadi pembebanan atau kompaksi pada lingkungan *shallow burial*. Pada sayatan UB teramati proses *neoformisme* dengan adanya *agradding neoformisme* dan semen *drusy* dan perkembangan *neoformisme* ini sampai menimbulkan rekristalisasi dengan membesarnya mineral kalsit yang ditemukan pada sayatan UA2. Pada kelima sayatan tidak ditemukan proses dolomitisasi.

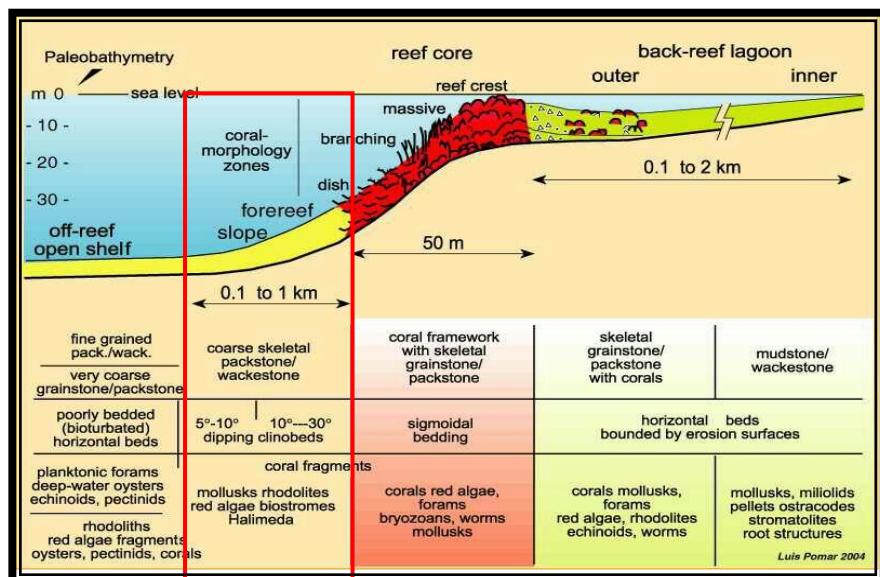
Pada kelima sampel sayatan tersebut, proses diagenesis yang teramati antara lain sementasi, mikritisasi mikrobial, kompaksi mekanik, *neophormisme* dan pelarutan.

5.1.2. Lingkungan Pengendapan Batugamping

Pada daerah penelitian fasies batugamping diketahui termasuk fasies Packstone. Dengan penciri kehadiran bioklas yaitu Foraminifera, Coral, Moluska dan *Algae*. Secara makroskopis ciri dari batugamping daerah penelitian yaitu pecahan cangkang *moluska*. Dengan adanya kehadiran pecahan cangkang dapat diketahui bahwa energi pada lingkungan pengendapan berenergi sedang atau pada daerah yang memiliki *slope*.

Idealized sequence of Standard Facies Belts (from Wilson, 1975)									
Bel	BASIN	OPEN SEA SHELF	DEEP SHELF MARGIN	FORESLOPE	ORGANIC BUILD UP	WINNOWED EDGE SANDS	SHELF LAGOON OPEN CIRCULATION	RESTRICTED CIRCULATION SHELF & TIDAL FLATS	EVAPORITES ON SABKHAS-SALINAS
Diagrammatic cross section & Facies Number	1	2	3	4	5	6	7	8	9
				Normal wave base			Normal wave base		
				Storm wave base					
				Oxygenation level					
									Salinity increases
									37-45 ppm >45 ppm
Facies	a) Fine Clastics b) Carbonates c) Evaporites	a) Carbonates b) Shale	Toe of Slope carbonates b) Foreset debris & lime muds c) Lime mud mounds	a) Bedded fine grain & clumps b) Chert on accumulations of debris c) Bafflestone	a) Boundstone b) Islands w. dune sand c) Lime mud bodies	a) Shoal lime sands b) Wackestone-mudstone areas, bioherms c) Areas of clastics	a) Lime sand bodies b) Litho-bioclastic sands in tidal channels c) Lime mud-tide flats d) Fine clastic units	a) Bioclastic wackestone, lagunas and bays b) Litho-bioclastic sand in tidal channels c) Lime mud-tide flats d) Fine clastic units	a) Nodular anhydrite & dolomite on salt flats. b) Laminated evaporites in ponds
Lithology	Dark shale or silt; thin limestones (starved basin); evaporite fill w. salt	Very fossiliferous limestone interbedded with marls; well segregated beds.	Fine grain limestone; cherty in some cases.	Variable, depending on water energy up slope; sedimentary breccia and lime sands	Massive limestone-dolomite	Calcareous-ooid lime sand or dolomite	Variable carbonate and clastics	Generally dolomitic and dolomitic limestone	Irregularly laminated dolomite and anhydrite, may grade to red beds
Color	Dark brown, black, red, gray, green, red, brown	Dark to light	Dark to light	Light	Light	Dark to light	Light	Red, yellow, brown	
Grain type and depositional texture	Lime mudstone; fine calcilites	Bioclastic and whole wackestone; some calcilites	Mostly lime mudstone with some calcilites	Lime silt and bioclastic wackestone-packstone; lithoclastics of varying sizes	Boundstones and pockets of grainstone; packstone	Grainstones well sorted and rounded	Great variety of textures	Clotted, pelleted grainstone to mudstone-mudstone & grainstone; laminated mudstone; coarse lithoclastic wackstone in channels	
Bedding and sedimentary structure	Very even mm lamination; rhythmic bedding; ripple cross lamination	Thoroughly burrowed; thin to medium; wavy to nodular beds; bedding surfaces show disconformities	Lamination may be minor; often massive bed; lenses of graded sediment; lithoclasts & exotic blocks; rhythmic beds	Slump in soft sediments; softset bedding; slope bioclasts; exotic blocks	Massive org. structure or open framework with roofed cavities; Lamination contrary to gravity	Medium to large scale crossbedding; festoons common	Burrowing traces very prominent	Blind eye, stromatolites, mm lamination, graded bedding, dolomite crusts on flats. Cross-bedded sand in channels	Anhydrite after gypsum; nodular, rosettes, chickenwire, and blades; irregular lamination; carbonate caliche
Terigenous clastics admixed or interbedded	Quartz silt & shale; fine grain siltstone; cherty	Quartz silt, siltstone, & shale; well segregated beds	Some shales, silt, & fine grained siltstone	Some shales, silt, & fine grained siltstone	None	Only some quartz sand admixed	Clastics and carbonates in well segregated beds	Clastics and carbonates in well segregated beds	Windblown, land derived admixtures; clastics may be very important units
Biota	Exclusively nektic; pelagic fauna preserved in abundance on bedding planes	Very diverse shelly fauna preserving both fauna & epifauna	Bioclastic cement derived principally from up-slope	Colonies of whole fossil organisms & bioclastic debris	Major frame building colonies with ramose forms in pockets; in situ communities dwelling in certain niches	Worm and abraded coquinas of forms living at or on slope; few indigenous organisms	Open marine fauna; sponges, forams, algae abundant; patch reefs present	Very limited fauna, mainly gastropods, algae, certain foraminifera & ostracods	Almost no indigenous fauna, except for stromatolitic algae

Gambar 5.9 Penampang ideal fasies karbonat menurut Wilson (1975), dan zona fasies daerah penelitian (Blok merah).



Gambar 5.10 Pemodelan lingkungan pengendapan batuan karbonat menurut L. Pomar (2004), dan zona fasies daerah penelitian (blok merah).

Berdasarkan ciri litologi dari fasies packstone pada daerah penelitian terendapkan pada zona *Foreslope* menurut model fasies Wilson (1975) pada **Gambar 5.9** dan pada lingkungan *Fore Reef Slope* menurut model fasies L. Pomar (2004) pada **Gambar 5.10**.

5.2 Parameter Diagenesa Batugamping

Proses diagenesis pada batuan karbonat meliputi semua proses yang mempengaruhi sedimen setelah pengendapan hingga secara alami mendekati metamorfisme dengan adanya peningkatan temperatur dan tekanan (Tucker dan Wright, 1990). Proses diagenesis batugamping pada daerah penelitian terdiri dari

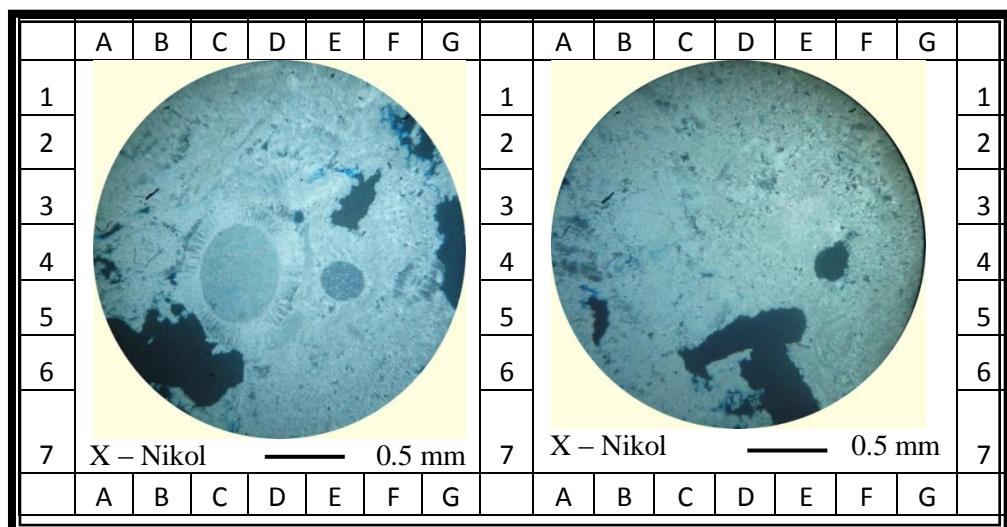
5.2.1. Sementasi

Sementasi merupakan pengisian pori baik diantara butiran, di dalam butiran ataupun di dalam lubang yang dihasilkan oleh pelarutan aragonit. Jenis jenis semen pada batuan karbonat adalah mineral mineral karbonat seperti aragonit, kalsit dengan Mg rendah ataupun tinggi dan dolomit. Proses Sementasi adalah proses dimana butiran-butiran sedimen direkatkan oleh material lain, dapat berasal dari air tanah atau hasil pelarutan mineral-mineral dalam sedimen itu sendiri. Material semennya dapat berupa karbonat (CO_3), silika (Si), atau oksida (Fe). Sementasi dengan keluarnya air dari ruang pori-pori, material yang terlarut didalamnya mengendap dan merekatkan butiran-butiran sedimen. Material semennya dapat merupakan karbonat (CaCO_3), silika (SiO_3), oksida (besi) atau mineral lempung. Proses ini menyebabkan porositas sedimen menjadi lebih kecil dari material semula.

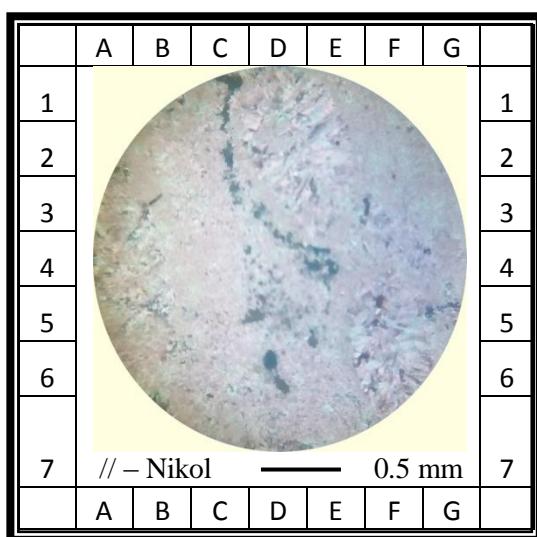
Semen merupakan komponen batuan karbonat yang mengisi pori-pori dan merupakan hasil diagenesis atau hasil presipitasi dalam pori batuan dari batuan yang telah ada. Semen sering disamakan dengan sparit hasil *neomorphisme*, padahal sparit hasil *neomorphisme* adalah perubahan (rekristalisasi) dari komponen karbonat yang telah ada.

Pada pengamatan petrografi, jenis semen yang dijumpai, antara lain semen *mikrospar – spari kalsit*. Bentuk semen yang dijumpai berupa *fibrous* (**Gambar 5.11**). Semen *fibrous* merupakan *early cement* yang terbentuk pada awal proses

diagenesis yaitu pada lingkungan marine phreatic. Semen ini tidak cukup banyak dijumpai pada sayatan karena telah larut akibat kondisi lingkungan diagenesis.



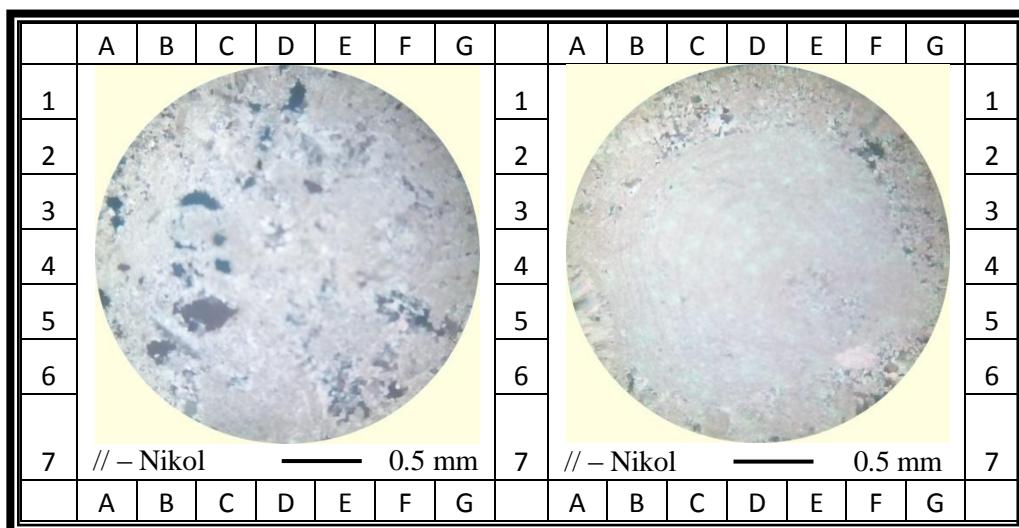
Gambar 5.11 Sayatan ST (Kiri) memperlihatkan semen *fibrous* mengelilingi Ekstraklas (D5), dan semen *fibrous* mengelilingi Foram Bentonik (B4) (Kanan).



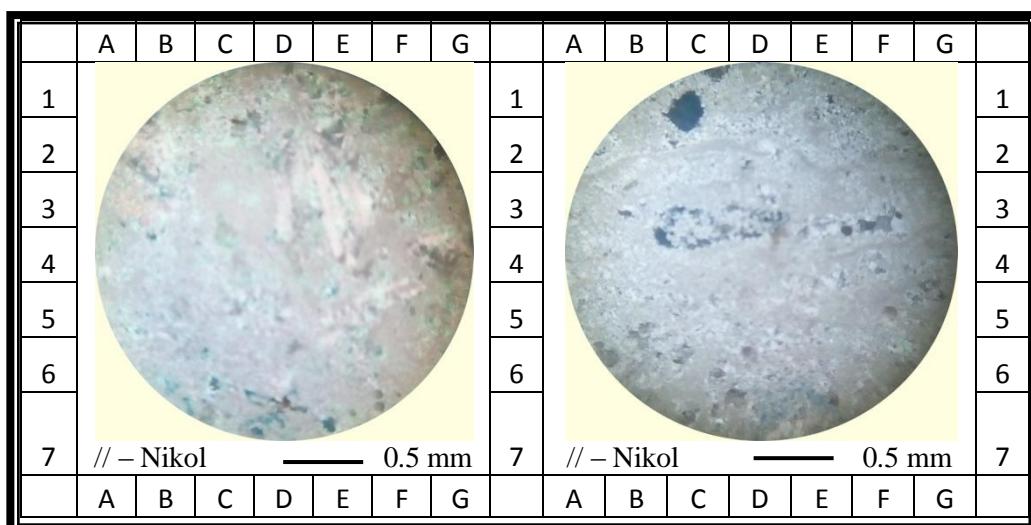
Gambar 5.12 Kenampakan semen *fibrous to bladed* (D1- E2) pada sayatan UB.

Selain semen fibrous, tampak juga semen *fibrous to bladed* pada sayatan UB yang mengikat fragmen dan lumpur karbonat (**Gambar 5.12**). Semen granular tampak pada sayatan STA R.11.07 dan UB yang mengelilingi cangkang koral (**Gambar 5.13**). Semen *drusy* yang menunjukkan pembesaran ukuran *spary kalsit* tampak pada sayatan UB yang mengikat fragmen foram (**Gambar 5.14**). Adanya

semen *drusy* menunjukkan adanya *aggrading neophormism* yang dapat terjadi pada lingkungan *meteoric phreatic*.



Gambar 5.13 Kenampakan semen granular pada sayatan STA R11.07 (E6) (Kiri) dan pada sayatan UB (F6) (Kanan).



Gambar 5.14 Kenampakan semen granular pada sayatan STA R11.07 (E2) (Kiri) dan semen *drusy* pada sayatan UB (F3) (Kanan).

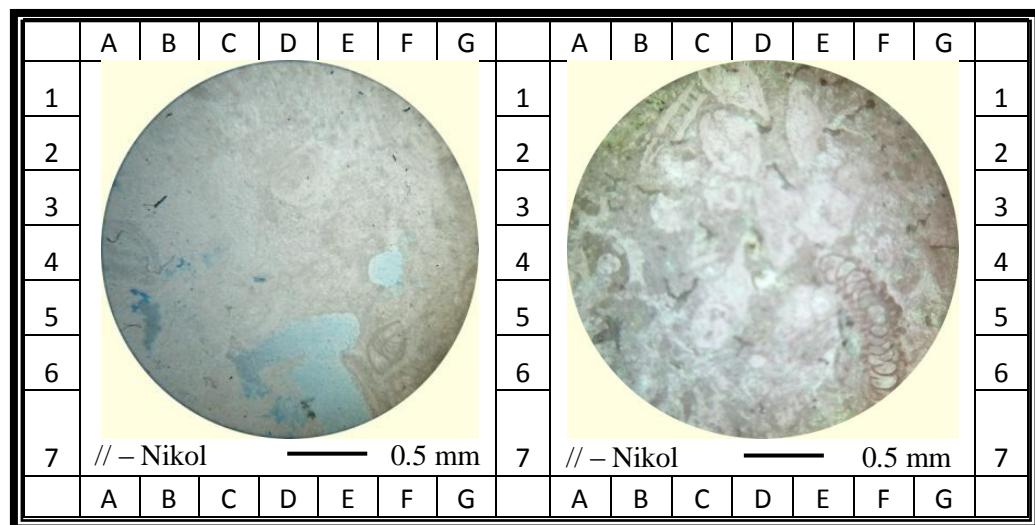
5.2.2 Mikrobial Activity

Aktivitas organisme biasanya terjadi pada awal proses diagenesis dimana terjadi setelah material sedimen karbonat mengalami pengendapan. Adanya aktivitas organisme ini akan menyebabkan terjadinya proses alterasi butiran *skeletal* pada dasar laut. Aktivitas organisme tersebut yaitu respirasi, fermentasi,

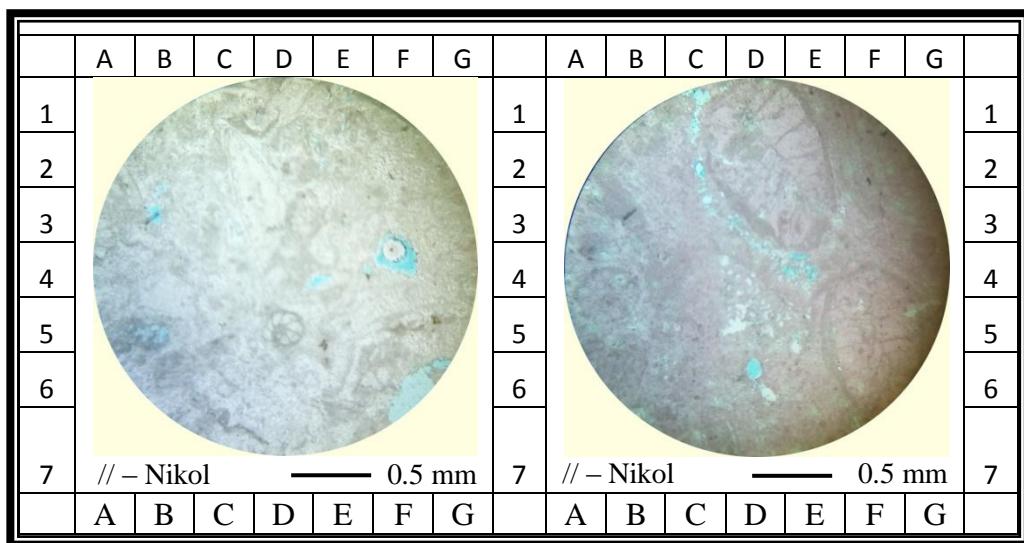
pengurangan nitrat, besi, sulfat, serta pembentukan gas metana. Organisme dalam lingkungan pengendapan batu karbonat akan meninggalkan jejak berupa *boring* dan *burrowing*. Aktivitas *boring* dan *burrowing* ini akan merusak struktur sedimen.

Proses ini akan membentuk suatu kenampakan batuan karbonat yang khas. Semua organisme kecil akan membentuk *microboring* dalam fragmen-fragmen *skeletal* dan butiran karbonat lainnya yang berukuran besar sehingga mengakibatkan butiran karbonat menjadi berkurang dan berubah menjadi mikrokristalin kalsit atau *micrite*. Proses tersebut dikenal sebagai mikritisasi (Boggs. 2006). Mikritisasi mikroba dapat terjadi pada lingkungan *marine phreatic* dengan arus tenang. Mikritisasi ini jarang terjadi pada arus yang cepat dikarenakan mikroba yang melakukan aktivitas akan terganggu dan lumpur karbonat yang terbentuk akan mengendap di tempat lain.

Kenampakan mikritisasi mikroba hadir hampir pada semua sayatan dengan butiran yang bervariasi. Seperti pada sayatan ST terdapat millioida dan sayatan STA.R.11.02 berupa alga yang termikritkan (**Gambar 5.15**). Kenampakan mikritisasi juga hadir pada sayatan STA.R.11.07 berupa cangkang gastropoda dan sayatan UB berupa coral yang termikritkan (**Gambar 5.16**).



Gambar 5.15 Kenampakan mikritisasi mikroba pada sayatan ST (F6) (Kiri) dan pada sayatan STA.R.11.02 (E4-F6) (Kanan).



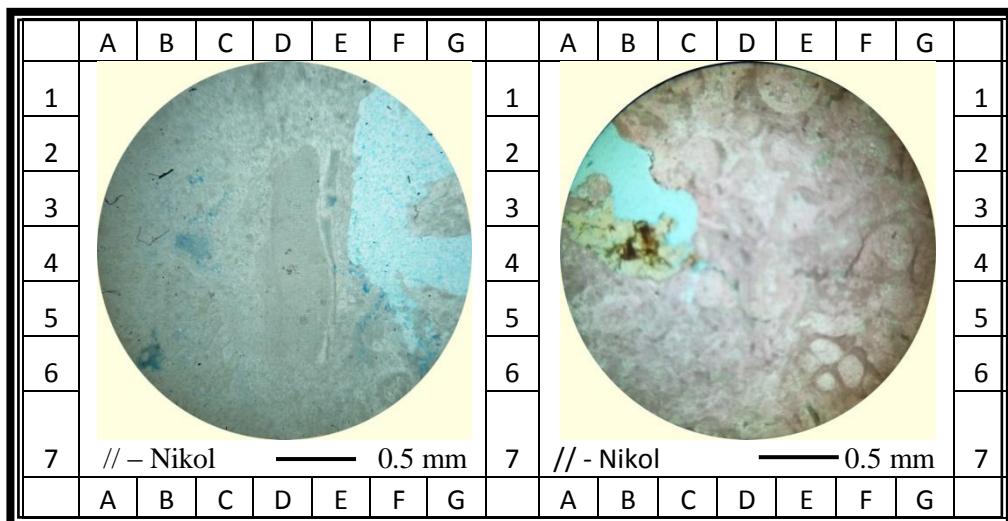
Gambar 5.16 Kenampakan mikritisasi mikroba pada sayatan STA R.11.07 (D5) (Kiri) dan pada sayatan UB (C2-E3) (Kanan).

5.2.3 Pelarutan

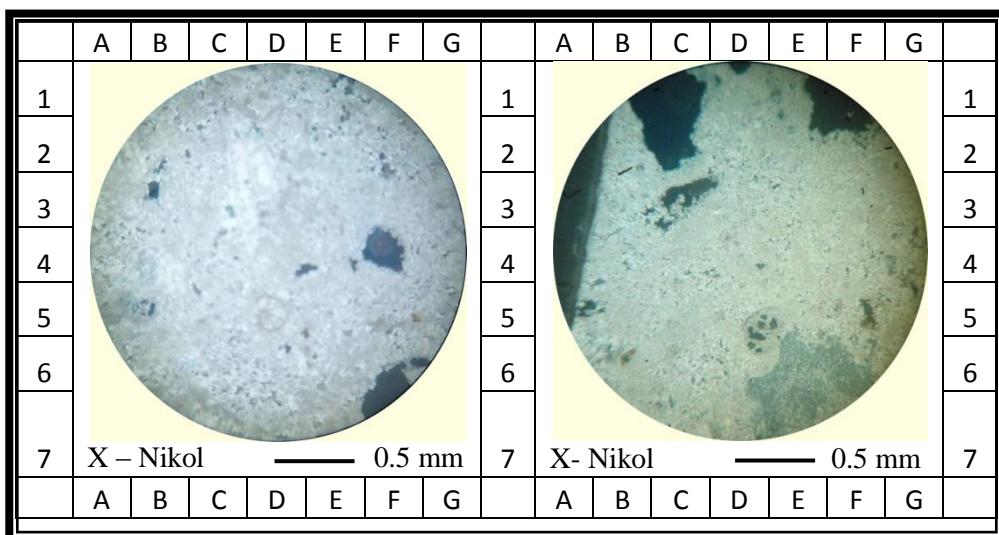
Proses pelarutan merupakan proses diagenesis yang penting yang menyebabkan meningkatnya porositas dan penipisan lapisan batuan sedimen terutama pada batuan yang mudah larut seperti batuan karbonat dan evaporit. Proses ini dikontrol oleh pH, Eh, temperature, tekanan parsial CO₂, komposisi kimia dan *ion strength*. Proses pelarutan juga dikontrol oleh porositas dan permiabilitas awal, mineralogi dan ukuran butir sedimen.

Material yang paling mudah larut dalam batupasir adalah semen kalsit, sehingga efek utama dari proses pelarutan adalah penghilangan semen. Proses ini disebut disementasi. Mineral metastabil pada batupasir seperti feldspar, fragmen batuan dan mineral berat, dapat juga mengalami pelarutan. Proses pelarutan yang terjadi pada batugamping ini terjadi pada lingkungan *meteoric vadose*.

Kenampakan proses pelarutan juga hadir di hampir semua sayatan dengan jenis porositas yang bervariasi antara lain porositas *vug* yang hadir pada sayatan ST dan STA.R.11.02 dengan ditandai warna biru pada nikol sejajar (**Gambar 5.17**). Porositas *vug* juga hadir pada sayatan UB yang ditandai dengan warna hitam pada nikol silang dan porositas integrangular yang tampak pada sayatan STA.R.11.07 yang ditandai dengan warna hitam berukuran 10 mikrometer (**Gambar 5.18**).



Gambar 5.17 Kenampakan pelarutan berupa *vug* pada sayatan ST (F1-E4) (Kiri) dan pada sayatan STA R.11.02 (B2-C3) (Kanan).



Gambar 5.18 Kenampakan pelarutan berupa intrapartikel pada sayatan STA R.11.07 (B5) (Kiri) dan pada sayatan UB (D5) (Kanan).

5.2.4 Dolomitasi

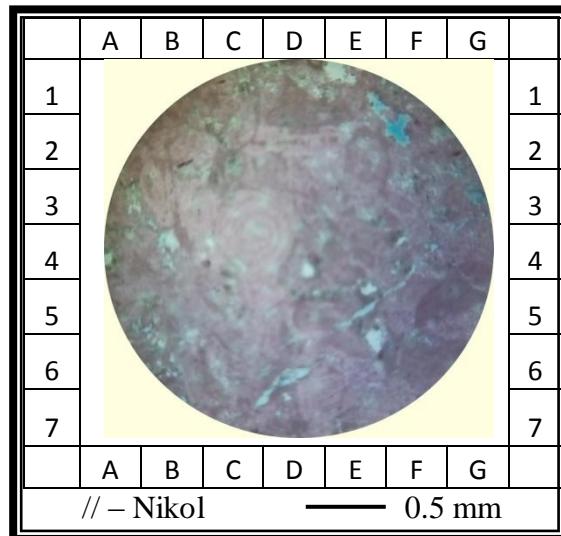
Dolomitasi adalah perubahan limestone secara parsial maupun keseluruhan menjadi dolomit. Dolomit mempunyai komposisi $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ dan secara kristalografi serupa dengan kalsit, namun lebih besar densitasnya, sukar larut dalam air, dan lebih mudah patah (*brittle*). Secara umum, dolomit lebih *porous* dan *permeable* dibandingkan *limestone*.

Saat sedimen terakumulasi, mineral yang kurang stabil mengkristal kembali atau terjadi rekristalisasi, menjadi yang lebih stabil. Proses ini umumnya terjadi pada batu gamping terumbu yang porous. Mineral aragonite (bahan struktur koral

hidup), lama-kelamaan akan mengalami rekristalisasi menjadi bentuk polimorfnya, kalsit. Untuk mengetahui kehadiran mineral dolomit pada batugamping dilakukan penambahan larutan Alizarin S, Karena pengaruh Alizarin S mineral kalsit akan bereaksi dengan berubah warna menjadi kemerahan sedangkan mineral dolomit tidak bereaksi sehingga warna tetap putih.

Pada satuan batugamping ini hanya tampak sedikit dolomit pada setiap sayatan sehingga dapat diinterpretasikan bahwa batugamping di daerah penelitian sedikit mengalami kontak dengan unsur Mg dari air meteorik. Proses dolomitasi dapat terjadi pada lingkungan *mixing zone*. Kenampakan proses dolomitasi jarang hadir pada seluruh sayatan pada satuan batugamping, pada sayatan STA.R.11.02 yang berada pada fasies Foraminiferal packstone hadir beberapa mineral dolomit yang ditandai dengan warna putih (Tidak bereaksi dengan larutan Alizarin S) yang dikelilingi mineral kalsit yang bereaksi dengan larutan Alizarin S

(Gambar 5.19)



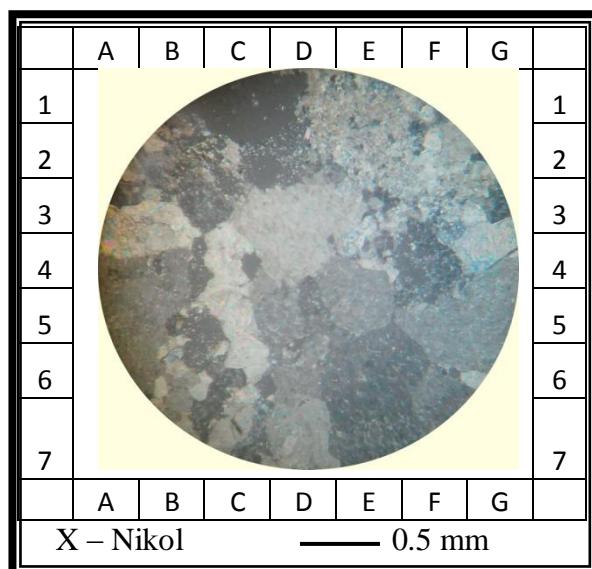
Gambar 5.19 Kenampakan dolomitasi pada sayatan STA R.11.02 (E1,E5,D6).

5.2.5 Neoformisme

Proses Neoformisme (Folk, 1965) terdiri dari *inverse*, rekristalisasi dan *coalescive neomorphism (aggrading/degrading neomorphism)*. Inversi adalah perubahan satu mineral ke *polymorph*, misalnya *polymorphic transformation aragonite* menjadi kalsit, alterasi Mg kalsit menjadi Kalsit. Sedangkan rekristalisasi adalah perubahan dalam ukuran kristal tanpa perubahan dalam

mineraloginya, misalnya membesar/mengecilnya ukuran kristal kalsit atau penggantian (*replacement*) kristal kalsit berukuran kecil oleh kristal kalsit berukuran lebih besar.

Neoformisme pada batuan karbonat umumnya adalah tipe *aggrading* (agradasi) yaitu kumpulan proses yang menghasilkan butiran spar yang lebih besar. Proses neomorfisme menyebabkan matrik (mikrit) telah berubah menjadi mikrospar pada sebagian besar contoh batuan. Proses ini dapat terjadi pada awal pemendaman *freshwater phreatic* dan *deep burial*. Berdasarkan analisa petrografi, neomorfisme yang terjadi di daerah penelitian adalah rekristalisasi yang terutama terjadi pada awal pemendaman *meteoric phreatic*. Proses Neoformisme hadir hanya pada sayatan UA2 dengan hadirnya mineral kalsit dengan ukuran 0.1 – 0.5 mm dengan ukuran yang kecil pada E1-G2 dan membesar pada C1-D7. Hal ini disebabkan karena presipitasi langsung dari air laut yang mengandung mineral kalsit dan juga akibat presipitasi dari mikrit yang membesar membentuk pseudospar yang ditandai dengan mineral kalsit yang cenderung berwarna gelap (C1-C2) seperti pada **Gambar 5.20**.



Gambar 5.20 Kenampakan kristal kalsit pada sayatan UA2 (E4-E7).

5.2.6 Kompaksi

Kompaksi adalah proses penyusunan kembali butiran sedimen sehingga menghasilkan hubungan antar butir yang lebih rapat. Proses kompaksi ini dibagi menjadi 2 yaitu :

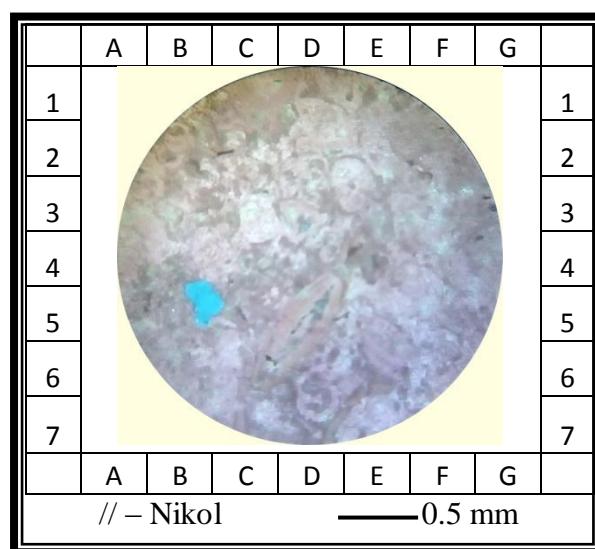
1. Kompaksi Mekanik

Pada kompaksi mekanik dimulai setelah terjadi deposisi dan tergantung pada tekanan yang terjadi pada sedimen. Jika tekanannya semakin besar maka akan mendorong air untuk keluar dari sedimen. Jika air tidak memungkinkan untuk keluar, tekanan yang terus bertambah akan mengakibatkan proses kompaksi mekanik akan terus berkembang, berkurang maupun berhenti. Dalam kasus material sedimen yang belum tekonsolidasi, kompaksi mekanik akan mengakibatkan adanya *grain sliding*, penggantian komposisi batuan, ataupun *grain crushing*.

2. Kompaksi Kimia

Pada kompaksi kimia hamper sama dengan kompaksi mekanik hanya saja dalam kompaksi kimia yang berubah adalah struktur kimianya akibat dari pengaruh lingkungan. Kompaksi kimia dapat mempengaruhi sifat dari batuan. Suatu kompaksi kimia akan menghasilkan batuan yang memiliki kandungan mineral anhydrite. Proses diagenesis secara kimia ini terjadi di antara batuan dan cairan yang terdapat dalam lubang antar butiran atau pori-pori.

Pada satuan batugamping tidak banyak kenampakan yang menunjukkan proses kompaksi seperti *contact suture*, *contact concave – convex* dan *styolite*. Hanya terdapat *contact concave convex* pada STA R.11.04 yang menandakan proses burial yang masih dangkal atau *shallow burial* (**Gambar 5.21**).



Gambar 5.21 Kenampakan *concave convex contact* pada sayatan STA R.11.02 (C3).

Proses kompaksi mekanik dengan adanya kenampakan *concave convex contact* dan *suture contact* sehingga dapat di interpretasikan bahwa lingkungan pengendapan proses kompaksi ini yaitu *shallow burial*.

5.2.7. Sejarah Diagenesis Batugamping Daerah Penelitian

Urutan perubahan lingkungan diagenesis yang terjadi pada batugamping di daerah penelitian yaitu lingkungan diagenesis *marine phreatic, shallow burial, mixing zone, meteoric phreatic, meteoric vadose..*

Sejarah lingkungan diagenesis diawali pada lingkungan *marine phreatic* yang berlangsung ketika pengendapan mulai terjadi sesaat setelah batuan karbonat terendapkan yaitu pada umur Pliosen Awal. Hal ini ditandai dengan kehadiran produk diagenesis yaitu proses mikritisasi *mikrobial* yang menghasilkan selaput mikrit dan proses sementasi primer *granular* pada cangkang Foraminifera planktonik oleh semen aragonit yang berbentuk *fibrous* dan *fibrous to bladed*.

Proses selanjutnya terjadi pembebanan atau kompaksi pada batugamping oleh batuan yang terendapkan diatasnya yaitu perselingan batupasir – batuempung ditandai dengan adanya kontak antar fragmen dan antar kristal sehingga menyebabkan pemanjangan dan porositas berkurang. Proses ini terjadi pada *shallow burial zone*.

Selanjutnya batugamping mengalami pendangkalan ke lingkungan *mixing zone*. Zona dimana terjadi pencampuran antara air meteorik dan air laut. Hal ini ditandai dengan adanya mineral dolomit dengan ukuran halus sampai sedang. Jumlah dolomit yang sedikit menunjukkan bahwa proses ini tidak berlangsung lama.

Setelah berada di lingkungan *mixing zone* mengalami ransisi ke lingkungan *meteorik phreatic*. Hal ini ditandai dengan terbentuknya semen *granular* dan *blocky* dan juga terjadi proses *neophormisme* yang menyebabkan perbesaran ukuran mineral kalsit dan proses kristalisasi yang menyebabkan ukuran kristal kalsit membesar.

Dan proses selanjutnya yaitu terjadi pada lingkungan *meteoric vadose* yang ditandai dengan proses pelarutan yang ditandai dengan adanya porositas *vug* yang tersebar pada seluruh bagian batugamping yang disebabkan kontak langsung dan

menjadi jenuh dengan air meteorik dan udara yang menyebabkan pelarutan berlangsung intensif.

5.3. Parameter Kimia Batugamping

Batugamping merupakan suatu bahan galian industri yang sangat besar potensinya dan tersebar di seluruh wilayah Indonesia, tetapi mengenai kualitasnya belum banyak diketahui. Kualitas batugamping ditentukan berdasarkan kandungan senyawa CaO, semakin tinggi CaO maka kualitas batugamping akan semakin baik. Batugamping merupakan bahan yang paling utama dalam pembuatan semen, karena presentase kandungan unsur yang terdapat pada batugamping yaitu unsur CaO memiliki peran yang tinggi. Dalam pembuatan semen terdapat beberapa komponen kimia penyusun utama yaitu CaO, SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃. Ada beberapa parameter yang harus dipenuhi yaitu berdasarkan Walter L. Duda (1976) pada **Tabel 5.1** dan sasaran mutu *quality control raw material* PT Sinar Tambang Arthalestari yang dapat dilihat pada **Tabel 5.2**.

Tabel 5.1 Komposisi senyawa batugamping pembentuk bahan baku semen berdasarkan Walter L. Duda (1976)

Komponen	Komposisi Ideal (%)	Kisaran (%)
SiO ₂	0,95	0,76 – 4,75
Al ₂ O ₃	0,92	0,71 – 2,00
Fe ₂ O ₃	0,38	0,36 – 1,47
MgO	0,95	0,30 - 1,48
CaO	54,6	49,8 – 55,6
LOI	42,03	39,65 – 44,03

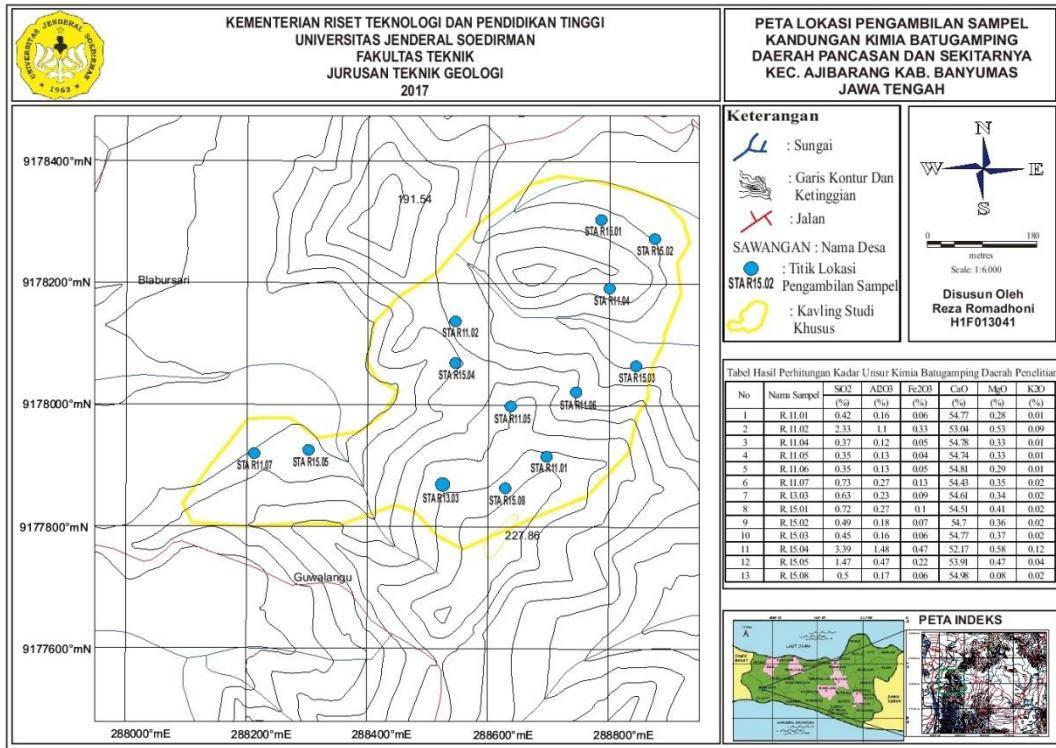
Untuk mengetahui kualitas batugamping untuk bahan baku semen PT Sinar Tambang Arthalestari menentukan sasaran mutu dari material penyusun semen dari batugamping, batuempung, pasir silika dan pasir besi. Berikut adalah sasaran mutu *Raw Material* PT Sinar Tambang Arthalestari

Tabel 5.2 Sasaran Mutu *Quality Control Raw Material* PT Sinar Tambang Arthalestari

DESCRIPTION		UNIT	RANGE	NOTE
Limestone	CaO	%	47	Minimal
	MgO	%	1.5	Maximal
Clay	SiO ₂	%	52	Minimal
	Al ₂ O ₃	%	25	Maximal
	Fe ₂ O ₃	%	15	Maximal
Silica Sand	SiO ₂	%	75	Minimal
Iron Ore	Fe ₂ O ₃	%	45	Minimal

Dalam penentuan kualitas batugamping, digunakan suatu metode kimia yang dapat menghasilkan rincian kandungan unsur unsur kimia pada batugamping yang selanjutnya akan dibandingkan dengan parameter unsur yang digunakan dalam pembuatan semen. Metode yang digunakan adalah metode XRF (*X-Ray Flourescence*). Metode uji kimia XRF ini merupakan teknik analisis unsur yang membentuk suatu material dengan menjadikan interaksi sinar X dengan material analit sebagai dasarnya, analisis ini dapat digunakan untuk mengetahui jumlah unsur unsur yang khususnya banyak terkandung dalam suatu batuan. Dalam hal ini adalah batugamping. Berdasarkan hasil analisis XRF tersebut maka dibuat sebuah peta lokasi pengambilan sampel dan hasil analisis kimia batugamping (**Gambar 5.22**).

Dengan mengetahui kandungan unsur yang terdapat pada batugamping maka dapat diketahui kualitas batugamping dan dibandingkan dengan standard kualitas batugamping dalam pembuatan semen, dalam hal ini penulis mengacu pada parameter parameter yang ada yaitu menurut Walter L. Duda (1975) dan PT Sinar Tambang Arthalestari. Analisis XRF untuk batugamping dilakukan pada 13 sampel dan didapatkan hasil perhitungan kadar unsur kimia batugamping dapat dilihat pada **Tabel 5.3**.



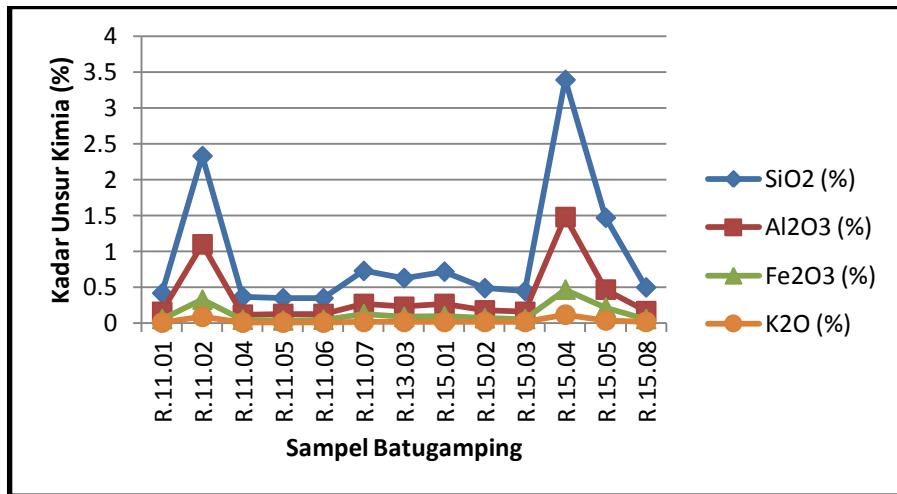
Gambar 5.22 Peta lokasi pengambilan sampel kandungan kimia batugamping daerah penelitian.

Tabel 5.3 Hasil analisis kimia batugamping dengan metode XRF

No	Nama Sampel	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O
		(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
1	R.11.01	0.42	0.16	0.06	54.77	0.28	0.01
2	R.11.02	2.33	1.1	0.33	53.04	0.53	0.09
3	R.11.04	0.37	0.12	0.05	54.78	0.33	0.01
4	R.11.05	0.35	0.13	0.05	54.74	0.33	0.01
5	R.11.06	0.35	0.13	0.05	54.81	0.29	0.01
6	R.11.07	0.73	0.27	0.13	54.43	0.35	0.02
7	R.13.03	0.63	0.23	0.09	54.61	0.34	0.02
8	R.15.01	0.72	0.27	0.1	54.51	0.41	0.02
9	R.15.02	0.49	0.18	0.07	54.7	0.36	0.02
10	R.15.03	0.45	0.16	0.06	54.77	0.37	0.02
11	R.15.04	3.39	1.48	0.47	52.17	0.58	0.12
12	R.15.05	1.47	0.47	0.22	53.91	0.47	0.04
13	R.15.08	0.5	0.17	0.06	54.98	0.08	0.02

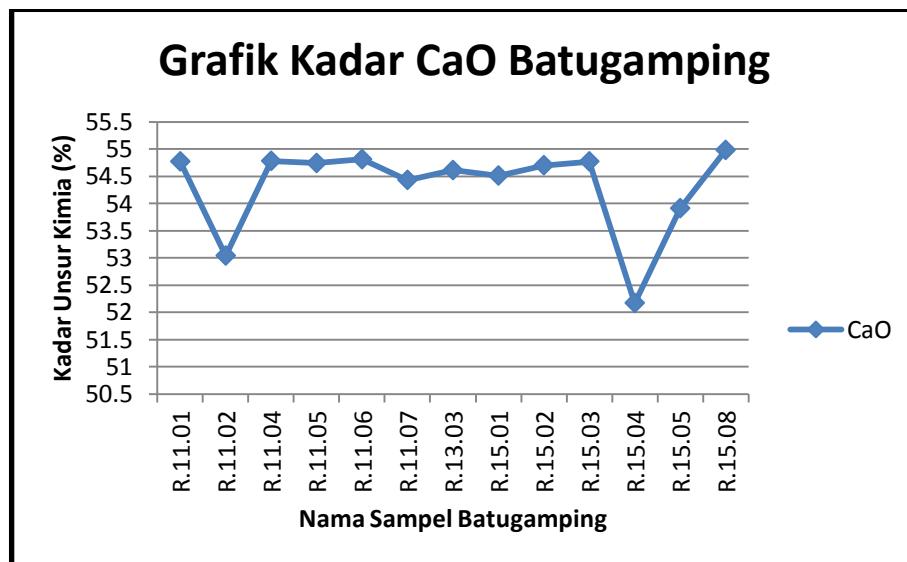
Tabel 5.3 menunjukkan kandungan unsur unsur yang terkandung pada batugamping daerah penelitian, beragamnya kandungan unsur pada batugamping diakibatkan oleh adanya unsur unsur pengotor pada batugamping seperti Mg, Si, Fe, Al, K. Kehadiran unsur unsur tersebut dapat mengurangi kualitas batugamping

namun dapat juga menjadi pelengkap dan penyeimbang untuk didapatkan rasio yang tepat. Gambar grafik kadar unsur kimia batugamping dapat dilihat pada **Gambar 5.23**

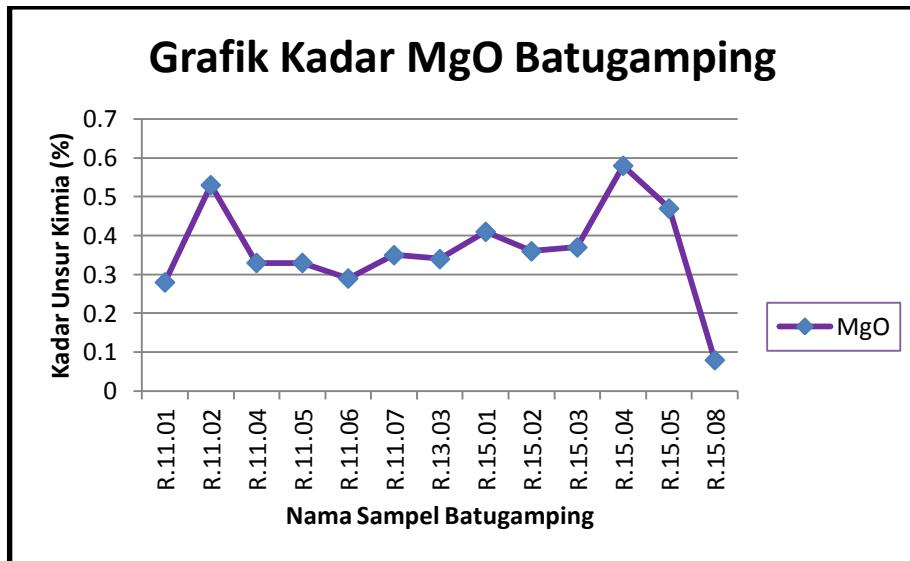


Gambar 5.23 Grafik kadar unsur kimia pada batugamping daerah penelitian.

Kandungan SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, K₂O dan lainnya dalam batugamping dibutuhkan dalam jumlah yang relatif sedikit, tetapi dapat dilengkapi dengan kandungan kandungan komponen semen lainnya seperti batu lempung, semen silika, pasir besi, tras dan gipsum agar memenuhi kriteria kualitas semen yang dikehendaki oleh perusahaan. Dari data **Tabel 5.3** kemudian dibuat grafik kandungan CaO (**Gambar 5.24**) dan MgO (**Gambar 5.25**)



Gambar 5.24 Grafik kadar CaO pada sampel batugamping pada daerah penelitian.



Gambar 5.25 Grafik kadar MgO pada sampel batugamping pada daerah penelitian.

Berdasarkan grafik diatas, dapat dijelaskan bahwa kualitas batugamping daerah penelitian memiliki kadar CaO yang cukup tinggi berkisar 52.17% - 54,98% dan MgO yang rendah berkisar 0.29% - 0.58%.

Batugamping pada daerah penelitian umumnya memiliki kandungan CaO tinggi pada beberapa sampel ditemui kandungan CaO yang relatif lebih kecil daripada yang lain. Perbedaan kandungan ini akibat tingginya persentase dari unsur pengotor yang ada pada batugamping. Kehadiran unsur pengotor sendiri biasanya terjadi akibat peresapan unsur Mg dari air laut ke dalam batugamping dan unsur pengotor lainnya akibat kontak udara dan air meteorik serta akibat leaching dari batuan samping atau karena proses tektonik. Dalam pembuatan semen senyawa yang paling berperan penting pada batugamping adalah unsur CaO dan MgO dimana kadar CaO harus tinggi dan kadar MgO harus serendah mungkin untuk dijadikan bahan baku semen.

Berdasarkan hasil perhitungan kadar unsur kimia batugamping dapat diketahui bahwa seluruh sampel batugamping memiliki persentase CaO $> 49.8\%$ dan memiliki kandungan MgO $< 1.48\%$ yang merupakan standar kualitas batugamping dikategorikan baik berdasarkan parameter Walter L. Duda (1975).

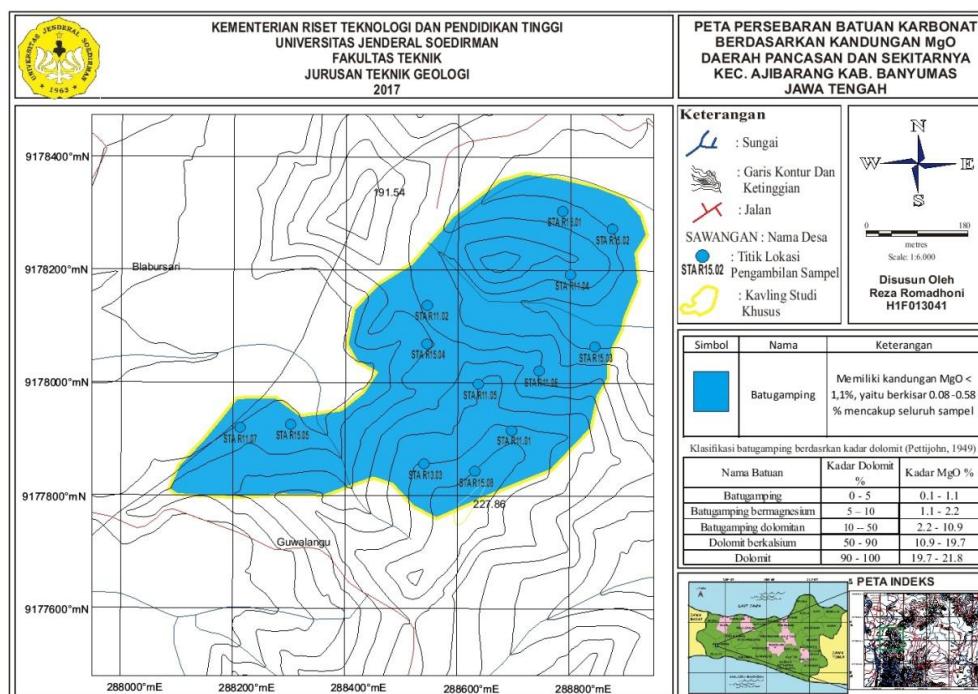
Berdasarkan hasil perhitungan kadar unsur kimia batugamping dapat diketahui bahwa seluruh sampel batugamping memiliki persentase CaO $> 47\%$

dan memiliki kandungan $MgO < 1.5\%$ yang merupakan standar kualitas batugamping dikategorikan baik berdasarkan Sasaran Mutu PT Sinar Tambang Arthalestari. Untuk mengetahui seberapa besar unsur MgO mempengaruhi penamaan batugamping daerah penelitian studi khusus, maka dilakukan klasifikasi penamaan batugamping berdasarkan kandungan MgO (**Tabel 5.4**)

Tabel 5.4. Klasifikasi batugamping berdasarkan kadar dolomit dan MgO menurut Pettijohn (1949)

Nama Batuan	Kadar Dolomit	Kadar MgO
	%	%
Batugamping	0 – 5	0.1 - 1.1
Batugamping bermagnesium	5 – 10	1.1 - 2.2
Batugamping dolomit	10 – 50	2.2 - 10.9
Dolomit berkalsium	50 – 90	10.9 - 19.7
Dolomit	90 - 100	19.7 - 21.8

Dari klasifikasi tersebut didapatkan bahwa dari 13 sampel batugamping, semua sampel termasuk ke dalam batugamping karena memiliki kandungan MgO kurang dari 1.1% yaitu dengan kadar MgO terendah 0.08 % dan tertinggi 0.58% Hasil analisis ini disajikan pada peta penyebaran batuan karbonat berdasarkan kandungan MgO (**Gambar 5.26**).



Gambar 5.26 Peta persebaran batuan karbonat berdasarkan kandungan MgO batugamping daerah penelitian.

5.4. Hubungan Parameter Fisik, Diagenesa, dan Kimia Terhadap Kualitas Batugamping

Berdasarkan parameter fisik berupa penetapan fasies batugamping didapatkan fasies foraminiferal packstone dan coral packstone. Dari pembagian jenis fasies tersebut didapatkan hasil bahwa litologi yang memiliki sifat klastika atau rombakan dari coral utama memiliki jumlah kadar unsur kimia CaO yang lebih rendah dibandingkan dengan litologi yang memiliki komposisi terumbu atau coral utama, dari rata rata perhitungan unsur kimia berdasarkan pembagian dua fasies tersebut dihasilkan kadar unsur kimia CaO dan MgO pada kedua fasies secara berurutan yaitu 54,7%, 0,26% dan 54%, 0,46%. Batugamping pada daerah penelitian termasuk kedalam asosiasi fasies packstone yang terendapkan pada zona *fore slope* (Wilson, 1975), dimana zona ini terletak pada kedalaman 20 m - 50 m, pada lingkungan ini batuan karbonat dapat berkembang baik dengan memiliki kelimpahan organisme.

Kualitas batugamping dapat dipengaruhi oleh fasies karbonat dan lingkungan pengendapan karbonat. Berdasarkan analisis XRF, secara umum batugamping daerah penelitian memiliki kualitas yang cukup baik untuk dijadikan sebagai bahan baku semen. Pada daerah penelitian, lingkungan pengendapan batugamping berada pada *fore reef* (Pomar, 2004). Pada lingkungan *fore reef* memiliki kadar CaO yang cukup tinggi namun bila dibandingkan dengan batugamping pada lingkungan *reef core* maka akan lebih rendah CaO, hal ini disebabkan karena adanya proses pelindian dan percampuran dengan kondisi di sekitarnya yaitu air meteorik yang mengandung MgO atau yang disebut proses dolomitasi yaitu proses dimana batugamping secara sebagian atau sepenuhnya terubah menjadi dolomit melalui penggantian mineral kalsit menjadi dolomit. Proses pembentukan dolomit sendiri dapat terjadi secara primer dan sekunder. Pada daerah penelitian proses dolomitasi hanya tampak pada sayatan lokasi pengamatan STA R11.02 dan STA R15.04. Pada lokasi tersebut memiliki kadar SiO₂ yang relatif lebih tinggi daripada lokasi dan lain yaitu sebesar 2,33% dan 3,39%. Hal ini juga dipengaruhi oleh struktur yang melintasi lokasi ini yaitu sesar geser kiri Pancasan sehingga terdapat material lain yang masuk dan mempengaruhi kadar unsur kimia batugamping di lokasi ini.

Selain proses dolomitisasi, dikenal juga proses *neoformisme* dan rekristalisasi yaitu proses perubahan mineralogi dan atau perubahan bentuk mineral karbonat menjadi lebih stabil atau berubah menjadi lebih besar. Hal ini terjadi pada lokasi pengamatan STA R 15.08 dimana dihasilkan persentase CaO yang paling tinggi diantara sampel yang lain yaitu 54,98% dan memiliki kandungan MgO yang paling rendah diantara 12 sampel lainnya yaitu 0.08% hal ini disebabkan karena sampel tersebut adalah batugamping kristalin yang merupakan hasil presipitasi langsung mineral karbonat.