

KAJIAN HUBUNGAN DIAGENESIS DAN SIKUEN STRATIGRAFI FORMASI NANGGULAN BERDASARKAN ANALISIS PETROGRAFI BATUPASIR

Wahyu Sasongko¹, Febri Buha Doli¹, Fathan Hanifi Mada Mahendra¹

¹Departemen Teknik Geologi Universitas Gadjah Mada

Email: wahyu_sasongko@yahoo.com

Abstrak

Proses diagenesis yang terjadi pada batuan memiliki hubungan yang erat dengan konsep sikuen stratigrafi. Proses diagenesis awal (eogenesis) yang terbentuk pada suatu batuan dipengaruhi oleh posisi stratigrafi batuan tersebut dalam tataan sikuen stratigrafi. Eogenesis tersebut dapat diteliti dengan menggunakan data petrografi batupasir mengenai proses diagenesis yang terdapat pada batuan, dan juga dengan melihat posisi batuan dalam tataan sikuen stratigrafi. Formasi Nanggulan yang tersingkap di Kulon Progo, Yogyakarta merupakan salah satu formasi yang dengan beberapa interval litologi batupasir. Analisis mengenai sikuen stratigrafi Formasi Nanggulan telah diteliti sebelumnya dengan menggunakan analisis batuan inti. Studi lebih lanjut mengenai Formasi Nanggulan bertujuan untuk mengetahui karakteristik batupasir dan proses diagenesisnya, serta mencari hubungan antara proses diagenesis dan sikuen stratigrafi. Penelitian dilakukan dengan menggunakan analisis petrografi dari data batuan inti dan singkapan permukaan dengan tujuan untuk mengetahui hubungan antara diagenesis dan sikuen stratigrafi pada batupasir Formasi Nanggulan.

Berdasarkan analisis petrografi terhadap diagenesis pada Formasi Nanggulan, dapat dikonfirmasi bahwa Formasi Nanggulan terdiri dari 3 system tract yaitu lowstand system tract (LST), transgressive system tract (TST), dan highstand system tract (HST). Tahapan proses diagenesis yaitu eogenesis, mesogenesis dan telogenesis telah mempengaruhi Formasi Nanggulan. Karakteristik diagenesis pada Formasi Nanggulan bervariasi sesuai dengan system tract dan marker batas sikuen pada tataan sikuen stratigrafi. Berdasarkan penelitian ini dapat diketahui bahwa sikuen stratigrafi Formasi Nanggulan dapat dikonfirmasi dengan data diagenesis.

Kata kunci : Batupasir, proses diagenesis, sikuen stratigrafi, dan Formasi Nanggulan.

Abstract

Diagenesis process that occurs in the rock has a close relationship with the concept of stratigraphic elbow. The initial diagenetic process (eogenesis) formed on a rock is affected by the stratigraphic position of the rock in the stratigraphic elbow setting. Eogenesis can be investigated by using petrography sandstones data about the process of diagenesis found in rocks, and also by looking at the position of rock in the stratigraphic elbow setting. The Nanggulan Formation unfolded in Kulon Progo, Yogyakarta is one of several formations with several sandstone lithology intervals. The analysis of the stratigraphic elbow of Nanggulan Formation has been studied previously by using core rock analysis. Further study on Nanggulan Formation aims to determine the characteristics of sandstones and diagenesis process, and to find the relationship between the process of diagenesis and stratigraphic elbow. The study was conducted by using petrographic analysis of core rock and surface outcrop data in order to know the relationship between diagenesis and stratigraphic elbow on Nanggulan Formation sandstone.

Based on petrographic analysis of diagenesis in Nanggulan Formation, it can be confirmed that Nanggulan Formation consists of 3 system tracts namely lowstand system tract (LST), transgressive system tract (TST), and highstand system tract (HST). Stages of diagenetic process ie eogenesis, mesogenesis and telogenesis have influenced Nanggulan Formation. Characteristics of diagenesis in Nanggulan Formation vary according to the system tract and the elbow boundary markers in the stratigraphic elbow setting. Based on this research it can be seen that the Nanggulan formation stratigraphic elbow can be confirmed with diagenesis data.

Keyword : Sandstg, diagenetic processes, stratigraphic sequences, and Nanggulan Formations

1. Pendahuluan

Perubahan diagenesis awal (eogenesis) dipengaruhi oleh lingkungan pengendapan dan dinamika sikuen stratigrafi (tektonik, eustasi, dan suplai sedimen) dimana batuan tersebut terbentuk. Lingkungan pengendapan dan dinamika sikuen stratigrafi tersebut dalam rekaman stratigrafi dapat ditunjukkan oleh posisi batuan dalam tataan sikuen stratigrafi (letak relatifnya terhadap batas-batas sikuen, system tract, dan parasikuen) dan fasies pengendapan. Karakteristik dari eogenesis yang terbentuk pada batuan kemudian akan berperan dalam pembentukan karakteristik diagenesis lanjutan (mesogenesis dan telogenesis). Karakteristik diagenesis dapat diteliti dengan baik menggunakan pengamatan petrografi pada litologi batupasir. Sehingga tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui keterkaitan antara diagenesis dan sikuen stratigrafi pada batupasir Formasi Nanggulan.

Data sikuen stratigrafi dari rekaman stratigrafi dapat membantu penelitian untuk menghasilkan analisis yang tajam dengan melakukan evaluasi terhadap hubungannya dengan proses diagenesis yang terjadi. Analisis terhadap batupasir dari data batuan inti Formasi Nanggulan, Kabupaten Kulon Progo cukup menarik untuk dilakukan, mengingat ketersediaan data batuan inti dan data sikuen stratigrafi, namun belum adanya kajian mengenai proses diagenesisnya. Sementara data sikuen stratigrafi diacu dari [3] berdasarkan tektonik, litologi dan fasies pengendapan Formasi Nanggulan.

1.1 Geologi Daerah Penelitian

Formasi Nanggulan merupakan bagian dari zona Kulon Progo dan zona Kulon Progo itu sendiri merupakan bagian dari stratigrafi Cekungan Jawa Tengah bagian selatan. Awal dari dinamika sedimentasi batuan khususnya pada regional Kulon Progo erat kaitannya dengan pembentukan cekungan pada daerah busur depan kepulauan (forearc).

Cekungan Jawa Tengah Selatan dikontrol oleh gaya struktur utama yang berarah barat laut-tenggara dan timur laut-barat daya. Struktur yang berarah barat laut-tenggara adalah Sesar Gabon dan Sesar Karangbolong. Kedua sesar tersebut diinterpretasikan sebagai sesar dekstral yang dibatasi oleh Dalaman Timur, Dalaman Barat, Citandui Low dan Kroya Low. Interpretasi profil seismik berarah barat laut-tenggara menunjukkan graben di Cekungan Jawa Tengah Selatan adalah half graben, dengan arah footwall timur laut-barat daya. Arah ini juga berkembang di daerah lain, seperti di Dalaman Timur dan di daratan.

Secara stratigrafi regional, Formasi Nanggulan merupakan formasi tertua dalam Cekungan Jawa Tengah Selatan. Menurut [10], batuan penyusun dari formasi ini adalah batupasir dengan sisipan lignit, napal pasiran, batulempung dengan konkresi limonit, sisipan napal dan batugamping, batupasir dan tuf serta kaya akan fosil foraminifera dan moluska. Diperkirakan ketebalan formasi ini mencapai 300 meter.

Berdasarkan studi paleobatimetri oleh [3] pada serpih batuan inti Nanggulan-1 dan Nanggulan-2 di Formasi Nanggulan, diketahui bahwa paleobatimetri formasi ini memiliki kisaran Neritik Dalam hingga Neritik Luar. Studi lain pada batuan inti Nanggulan-1 dan Nanggulan-2 pada data paleontologi serpih menunjukkan umur Eosen Tengah hingga Oligosen Awal.

1.2 Diagenesis dan Sikuen Stratigrafi

Diagenesis diartikan sebagai proses ubahan pada sedimen yang terjadi sejak pengendapan, hingga sebelum terjadinya proses metamorfisme. Faktor-faktor yang mempengaruhi proses diagenesis dapat digolongkan menjadi faktor sedimentasi dan faktor lingkungan. Faktor sedimentasi meliputi ukuran partikel, kandungan fluida, kandungan material organik, dan komposisi mineralogi. Faktor lingkungan meliputi suhu, tekanan dan kondisi kimiawi [1]. Secara umum, terdapat 3 tahapan diagenesis yaitu eogenesis, mesogenesis, dan telogenesis.

Konsep sikuen stratigrafi menyatakan bahwa deposisi sedimen dan distribusinya secara spasial dan temporal pada cekungan dikontrol oleh tingkat suplai sedimen, dan perubahan ruang akomodasi cekungan. Ruang akomodasi cekungan tersebut dikontrol oleh tingkat subsidens atau pengangkatan pada dasar cekungan, dan eustasi (perubahan muka air laut relatif). Konsep sikuen stratigrafi ini digunakan untuk membagi rekaman stratigrafi kedalam sikuen-sikuen pengendapan. Batas-batas sikuen pengendapan (sequence boundaries) tersebut berupa ketidakselarasan (permukaan erosi subaerial [12]).

Sikuen-sikuen pengendapan tersebut dapat dibagi kembali dalam beberapa parasikuen. Setiap parasikuen dibatasi oleh marine flooding *surface*. Parasikuen-parasikuen tersebut dapat dikelompokkan kembali dalam set parasikuen tertentu berdasarkan tipe *stacking pattern*. Set-set parasikuen tersebut kemudian dapat dihubungkan pula dengan kurva perubahan muka air laut relatif. Hubungan ini kemudian digunakan sebagai dasar pengelompokan set-set parasikuen ke dalam beberapa *system tract*. Secara

umum terdapat 3 tipe *system tract*, yaitu LST (*lowstand system tract*), TST (*transgressive system tract*), dan HST (*highstand system tract*).

Sikuen stratigrafi mempengaruhi diagenesis yang terbentuk pada batupasir. Sebagai contoh tingkat sedimentasi dan tingkat penambahan ruang akomodasi mempengaruhi langsung sifat kimia air pori dan waktu kediaman (*residence time*) sedimen pada lingkungan pengendapan tertentu (yang merupakan faktor-faktor dengan peranan penting dalam diagenesis batupasir). Oleh karena itu, kemudian akan terbentuk diagenesis pada batupasir yang selaras dengan tingkat sedimentasi dan ruang akomodasi sesuai dengan konsep sikuen stratigrafi.

2. Metode Penelitian

2.1 Metode Pengumpulan Data

Dalam pelaksanaan penelitian ini, dilakukan beberapa tahapan penelitian seperti tahap perumusan masalah, tahap studi pustaka, tahap pengambilan data, tahap analisis data, dan tahap interpretasi dan penyelesaian.

1) Tahap perumusan masalah

Pada tahap ini, dilakukan pemilihan mengenai masalah yang akan diangkat sebagai tema dan judul penelitian, sekaligus memilih lokasi dimana penelitian akan dilakukan.

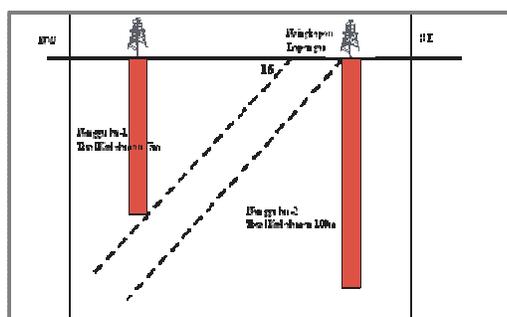
2) Tahap studi pustaka

Studi yang dilakukan meliputi studi geologi regional daerah penelitian, stratigrafi regional daerah penelitian, dan penelitian-penelitian tentang diagenesis dan sekuen stratigrafi yang berada atau berdekatan dengan daerah penelitian.

3) Tahap pengambilan data

Pada tahap ini, dilakukan pengambilan data batuan inti dan juga data lapangan. Untuk data batuan inti, sebelumnya telah dilakukan pengambilan data core (batuan inti) dan stratigrafi terukur dari permukaan Formasi Nanggulan. Kemudian didapatkan panjang total batuan inti sepanjang 175 m (batuan inti Nanggulan 1 sepanjang 75 meter dan batuan inti Nanggulan 2 sepanjang 100 meter). Data batuan inti diambil pada dua lokasi yang berbeda, yaitu: (1) Nanggulan-1, berada di Dusun Ngroto, Desa Pandawarejo, Kecamatan Girimulyo; dan (2) Nanggulan-2, berada di Dusun Klepu, Desa Banjararum, Kecamatan Nanggulan, Kabupaten Kulon Progo.

Pengambilan sampel petrografi disesuaikan dengan keberadaan litologi batupasir pada interval tertentu, diambil sesuai dengan penilaian kualitatif berdasarkan representasi kedalaman batuan inti. Selain pengambilan data batuan inti, dilakukan pula pengambilan data lapangan. Pengambilan data lapangan ini dilakukan di Dusun Klepu, Desa Banjararum, Kecamatan Nanggulan, Kabupaten Kulon Progo.



Gambar 1. Ilustrasi hubungan batuan inti Nanggulan-1 dan Nanggulan-2

Selanjutnya dilakukan pengolahan data sampel batuan inti dan permukaan menjadi data sayatan tipis (*thin section*). Data sampel tersebut dikirim ke laboratorium untuk selanjutnya diolah menjadi sayatan tipis yang berkualitas baik. Kemudian dilakukan pengamatan di laboratorium menggunakan mikroskop polarisasi untuk mengetahui komposisi, tekstur dan deskripsi masing-masing sayatan batupasir Formasi Nanggulan, baik dari sampel batuan inti maupun sampel singkapan permukaan.

2.2 Metode Analisis Data

Penelitian ini menggunakan metode point counting untuk mengetahui komposisi dari batupasir. Metode point counting yang dilakukan dalam penelitian ini mengacu pada Metode Gazzi-Dickinson. Metode ini dilakukan dengan menentukan mineral yang terdapat pada 300 titik pada tiap medan pandang. Mineral-mineral tersebut kemudian diakumulasikan dan dihitung persentasenya. Pada penelitian ini pelaksanaan metode point counting dilakukan dengan menggunakan point counter yang tersedia di Laboratorium Mineral Optik, Departemen Teknik Geologi UGM, dan dibantu dengan perangkat lunak JMicroVision versi 1.27. Perangkat lunak ini digunakan untuk mendapatkan ketelitian yang maksimal dalam penentuan tiap titik pengamatan point counting agar didapatkan hasil pengamatan yang akurat dan presisi. Kemudian hasil pengamatan mineral di 300 titik tersebut ditabulasi dengan menggolongkannya menjadi 3 jenis komposisi, yaitu (1) Komposisi detrital; (2) Mineral diagenesis; dan (3) Porositas.

Setelah dilakukan pengamatan laboratorium, maka selanjutnya dilakukan analisis diagenesis batupasir Formasi Nanggulan. Analisis ini mengacu pada data yang sebelumnya telah didapatkan dalam pengamatan laboratorium pada sampel-sampel Formasi Nanggulan. Analisis data tersebut dilakukan untuk mengetahui proses diagenesis yang mempengaruhi tiap sampel batuan tersebut, berdasarkan data komposisi mineral (baik mineral utama maupun mineral diagenesis) dan juga porositas batuan. Data diagenesis tersebut kemudian dipadukan dengan data sekuen stratigrafi batuan inti Formasi Nanggulan [2] untuk kemudian diintegrasikan menjadi data komprehensif yang menunjukkan gambaran hubungan diagenesis dengan sekuen stratigrafi Formasi Nanggulan.

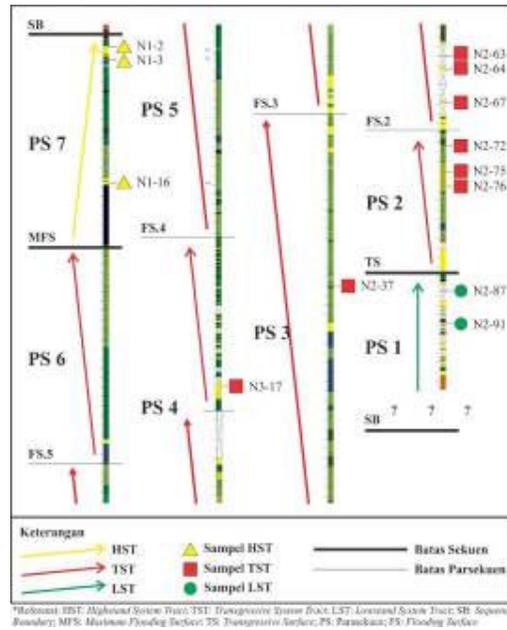
Analisis data dilakukan dengan menggunakan data point counting dari tiap sayatan tipis. Selanjutnya untuk menghubungkan data diagenesis tersebut dengan sekuen stratigrafi, maka dilakukan pembuatan Tabel Komposisi Modal (Modal Composition Table). Tabel ini terdiri atas persentase tiap jenis mineral detrital, mineral diagenesis dan porositas menurut tipe system tract masing-masing sampel dalam sekuen stratigrafi batuan inti Formasi Nanggulan 1 dan 2. Pembagian system tract batuan inti Nanggulan 1 dan 2 pada penelitian ini menggunakan kolom system tract menurut [2]. Oleh karena itu pada Tabel Komposisi Modal, digunakan hanya 3 system tract yaitu LST (lowstand system tract), TST (transgressive system tract), dan HST (highstand system tract).

Tahap interpretasi dan penyelesaian adalah tahap terakhir dalam penelitian yang meliputi evaluasi sekuen stratigrafi dari Formasi Nanggulan berdasarkan data diagenesis batupasir dari batuan inti Nanggulan-1 dan Nanggulan-2. Dari evaluasi ini akan dilakukan klarifikasi mengenai marker sekuen stratigrafi dan system tract dari Formasi Nanggulan. Kemudian tahap ini dilanjutkan dengan penentuan kesimpulan dan penyusunan laporan.

3. Hasil dan Analisis

3.1 Keterdapatn sampel batupasir

Pemilihan sampel-sampel batupasir didasarkan pada kedalaman representatif untuk mewakili setiap *system tract* dan marker batas sekuen pada Formasi Nanggulan. Jumlah sampel batupasir yang digunakan dalam penelitian ini adalah 13 sampel. Sampel batupasir dari batuan inti Nanggulan-1 sebanyak 3 sampel. Sampel batupasir dari batuan inti Nanggulan-2 berjumlah 9 sampel. Sementara sampel batupasir yang didapatkan dari data lapangan berupa singkapan permukaan sebanyak 1 sampel.



Gambar 2. Keterpadatan sampel batupasir pada tataan sekuen stratigrafi Nanggulan

3.2 Tekstur batupasir

Tekstur batupasir pada sampel LST memiliki ukuran pasir sangat halus (0,0625-0,125mm). Sampel TST memiliki kecenderungan ukuran pasir sedang (0,25-0,5mm) hingga pasir halus (0,125-0,25mm). Sampel HST memiliki ukuran butir yang lebih besar ketimbang sampel TST dan LST. Sampel HST memiliki ukuran pasir kasar (0,5-1mm) hingga pasir sangat kasar (1-2mm). (lihat tabel 1)

Tabel 1. Data hasil pengamatan petrografi terhadap tekstur batupasir

System Tract	Sampel	Uk. Butir	Sortasi	Der. Kebundaran	Kemas	Kontak antar butir				Detr. (%)	Mat. (%)	Sem. (%)	Komposisi			Klasifikasi	
						T	L	KK	S				Q	F	L	Pettijohn (1975)	McBride (1963)
HST	N1-2	Sk	ps	sr	ms	U	J	J	-	79	8	13	3.03	3.03	93.94	Lithic Wacke	Litharenite
	N1-3	K	ps	sr-r	ms	U	J	J	-	75	9	16	1.92	2.3	95.79	Lithic Wacke	Litharenite
	N1-16	K	ps-vps	sr	ms	U	J	J	-	96	0	4	0	12.33	87.67	Litharenite	Feldspathic Arkose
TST	N3-17	H	ps-vps	sr-sa	ms	U	J	J	-	85.02	0	14.98	83.33	16.67	0	Subarkose	Subarkose
	N2-37	Sh	ws	r-sa	gs	U	S	J	-	81.5	5	13.5	83.72	14.73	1.55	Feld. Wacke	Subarkose
	N2-63	Sh	ws-ps	sr-sa	ms	U	S	-	-	78.5	4	17.5	70.93	14.1	14.98	Lithic Wacke	Lithic subarkose
	N2-64	H	ws-ps	sr-sa	ms	U	S	-	-	80.5	1.5	18	76.67	13.81	9.52	Feld. Wacke	Subarkose
	N2-67	S-H	vps	sr-a	ms	S	U	S	SJ	79.18	5.51	15.31	80.18	7.37	12.44	Lithic Wacke	Sublitharenite
	N2-72	H	vps	sr-a	ms	S	U	J		89	5	12.5	74.19	5.99	19.82	Sublitharenite	Sublitharenite
	N2-75	H	ws-ps	r-a	ms	S	U	J	SJ	77.5	5	17.5	94.8	4.05	1.16	Quartz Wacke	Quartzarenite
LST	N2-76	Sh	ws-mws	sr-sa	gs	U	S	-	-	67	2.5	30.5	85.33	8.15	6.52	Feld. Wacke	Subarkose
	N2-87	Sh	ws-ps	r-a	ms	U	S	J	-	75.5	14.5	10	95.33	3.27	1.4	Quartz Wacke	Quartzarenite
	N2-91	Sh	ws-ps	sr-sa	ms	U	J	J	-	84.27	4	11.73	92.81	7.19	0	Feld. Wacke	Subarkose

*Keterangan: System tract: LST: Highstand System Tract, TST: Transgressive System Tract, LST: Lowstand System Tract; Ukuran butir: Sk: Sangat kasar, K: Kasar, S: Sedang, H: Halus, Sh: Sangat halus; Sortasi: vws: very well sorted, mws: moderately well sorted, ps: poorly sorted, vps: very poorly sorted; Derajat kebundaran: a: angular, sa: subangular, sr: subrounded, r: rounded; Kemas: gs: grain supported, ms: matrix supported; Kontak antar butir: T: tangensial, L: long contact, KK: kontak-konveks, S: sutura, U: utama, S: sekunder, J: jarang, SJ: sangat jarang; Detr.: komposisi detrital; Mat.: komposisi matriks; Sem.: komposisi semen; Komposisi: Q: kuarsa, F: feldspar, L: fragmen litik;

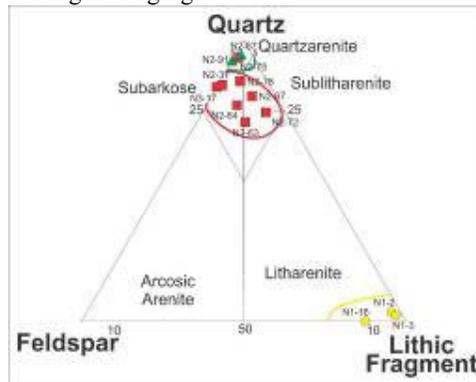
Sortasi yang terbentuk juga memiliki perbedaan antar kelompok sampel dari system tract yang berbeda. Sampel LST memiliki kecenderungan sortasi well sorted hingga poorly sorted. Sampel TST

menunjukkan variasi antar sampel, mulai dari sampel dengan sortasi *well sorted*, *moderately well sorted*, *poorly sorted* hingga *very poorly sorted*. Sampel HST menunjukkan sortasi buruk yaitu *poorly sorted* hingga *very poorly sorted* dengan merujuk pada klasifikasi Harrell (1984).

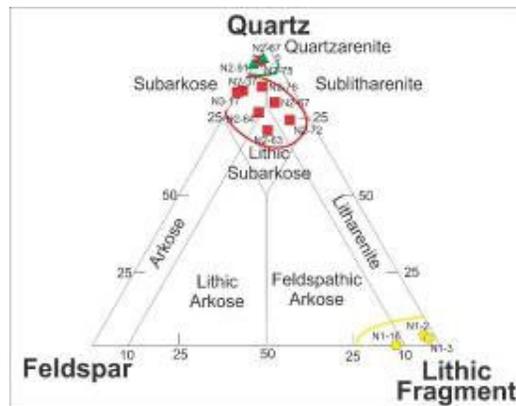
Morfologi butir pada sampel juga menunjukkan perbedaan antar sampel dari *system tract* yang berbeda. Sampel LST sama seperti sampel TST memiliki pola kebundaran variatif yaitu *rounded*, *subrounded*, *subangular* dan *angular*. Sampel TST memiliki tingkat kebundaran variatif yaitu *rounded*, *subrounded*, *subangular* dan *angular*. Sampel HST memiliki tingkat kebundaran *subrounded* hingga *rounded*, tanpa keterdapatannya pola *angular* yang signifikan. (lihat tabel 1). Secara umum tekstur seluruh sampel baik dari sampel LST, TST maupun HST menunjukkan tipe tekstur *clastic supported*. Sementara kontak antar butir juga menunjukkan variasi antar sampel yang ditemukan.

3.3 Klasifikasi batupasir

Klasifikasi batupasir yang digunakan pada penelitian ini adalah klasifikasi batupasir menurut [7] [9] di mana kedua klasifikasi tersebut menggunakan modal mineralogy batupasir berupa kuarsa, feldspar, dan fragmen litik dalam sebuah diagram segitiga.



Gambar 3. Hasil plot batupasir dengan klasifikasi [9]



Gambar 4. Klasifikasi menurut [7]

Tabel 2. Komposisi detrital Formasi Nanggulan

Komposisi Detrital	LST		TST								HST		
	Offshore		Tidal Flat								UFR Sand Flat		
	N2-91	N2-87	N2-76	N2-75	N2-72	N2-67	N2-64	N2-63	N2-37	N3-17	N1-16	N1-3	N1-2
Kuarsa monokristalin (undulasi)	33,33	38,33	41,67	32	40	28	34,33	36,67	24,67	9	0	0	0
Kuarsa monokristalin (non-undulasi)	7	25,33	8	11,33	8,33	18	25,33	11,33	3,33	6	0	1	2,33
Kuarsa polikristalin (2-3)	4,33	2	1,33	5,67	2,33	5	4	2,67	4,33	0	0	0,33	0
Kuarsa polikristalin (>3)	2,67	2,33	1,33	5,67	3	7	4	3	3,67	0	0	0,33	0
Plagioklas	3,67	2,33	5	1,67	4,33	5,33	7	6,67	6,33	0	6	2	2,33
K-feldspar	0	0	0	0,67	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fragmen litik plutonik	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fragmen litik vulkanik	0	0	0	0	5	0	1	0	0	0	42,67	83,33	72,33
Fragmen litik sedimen	0	0	0	0,67	0	4,33	0	0	0	0	0	0	0
Fragmen litik metamorfik	0	1	4	0	9,33	4,67	4	9,67	0,67	0	0	0	0
Muskovit	0	0	0	1,67	0	0,67	0	0,67	2	0	0	0	0
Biotit	0	0	0	0	0	0	0	0,67	1	0,67	0	0	0
Mineral berat	0,67	0	0	0	3,33	1,67	2	2	1,67	0,67	0	0	0
Baturijang	0	2	0,67	1	3,67	2	0	0	0	0	0	1,33	2,67
Mud	0	15	2,33	3	2,67	6	2	1	4,67	0	0	0	0
Material opak	0,67	0	0,67	4	0,33	1	1,33	6	12,33	3,33	0	0	0

Tabel 3. Komposisi mineral diagenesis Formasi Nanggulan

Mineral Diagenesis	LST		TST								HST		
	Offshore		Tidal Flat								UFR Sand Flat		
	N2-91	N2-87	N2-76	N2-75	N2-72	N2-67	N2-64	N2-63	N2-37	N3-17	N1-16	N1-3	N1-2
Kuarsa overgrowth	3,67	0	0,67	0	1,67	3,33	2	2,67	1	0	0	0	0
Kloritisasi feldspar	0	1	0	0	0,33	1	3,33	2	0	0	5,67	0	0
Illitisasi feldspar	0	1,33	0	1	0	0,67	0	0,67	0	0	0	0	0
Pseudomatriks	0	0,67	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Albitisasi feldspar	0	0	0	0	5,33	3	0	0,67	0	1,33	0	0	0
Glaukonit	0	0,67	0,67	1,67	1,33	1,33	0	1,67	2	4,67	0	0	0
Kaolinit	0	0	0	0	0	1,33	1	0	0	1,33	0	0	0
Kalsit	0	3	0,67	1,67	0	0,33	2	1,67	6,67	2	6,33	3	0
Serisit	0	0	2,33	24,67	1,67	0	0	0,67	2,67	0	0	0	0
Kaolinit	0	0	1,33	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Klorit	0	0,67	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Kloritisasi fragmen litik	0	0	0	0,67	0	0	0	1	1	0	8,33	0	0
Pore-lining smektit-illite	0	0	6	0	1,33	0	4,33	0,67	1	0	20	4	14,33
Semen kalsit mikrokristalin	0	2	2,33	0	0	0	0	0,67	2	0	0	0	0
Pore-lining kalsit	0	0	0	0	0	0	0	0	3,33	0	0	0	0
Mineral lempung Fe	0	0	5	0	0	0	0	0,67	0,67	0	0	0	0
Urut kalsit	0	0,67	0	0	0	0	0	0,67	0	0	6,33	0	0
Pirit	5,67	0	1,33	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0
Alterasi kalsit pada feldspar	0	1	0	0	0	0	0	0,67	0	6	0	3,33	2,67
Illitisasi pada fragmen litik	0	0	0	0	0	0	0	0,67	0	0	0	0	0
Magnetit	0	0	0	0	0	0	0	0,67	0	0	0	0	0
Pore-filling semen mineral lempung	36,67	0	14,67	0	0,33	4,33	1,33	0	10,67	65	0	0	0
Alterasi kalsit pada fragmen litik	0	0,67	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3,33
Alterasi pada kuarsa	0	0	0	0	5,67	0	1	0	0	0	0	0	0
Alterasi pada feldspar	1,67	0	0	0	0	0	0	0	4,33	0	4,67	1,33	0

3.4 Hasil pengamatan petrografi mineral

Kuarsa terdapat dalam jumlah yang melimpah pada sekuen LST dan TST. Secara rata-rata, kuarsa monokristalin undulasi memiliki persentase 31,8% dari total komposisi batupasir. Sementara kuarsa monokristalin non-undulasi memiliki persentase 12,73% dari total komposisi batupasir. Kuarsa polikristalin (2-3) memiliki rata-rata persentase 3,16% dari total komposisi batupasir TST dan LST. Kuarsa polikristalin (>3) memiliki rata-rata persentase 3,26%. Secara umum, mineral kuarsa memiliki rata-rata persentase 50,63% dari total komposisi batupasir. (lihat tabel 2)

Fragmen litik vulkanik memiliki keterdapatan yang tinggi pada sampel HST yaitu sampel N1-2, N1-3, dan N1-16. Tingginya keterdapatan fragmen litik vulkanik tersebut dipengaruhi oleh keberadaan aktivitas vulkanik pada fase pengendapan sekuen HST tersebut.

Tingginya keterdapatan fragmen litik vulkanik tercermin dari persentase yang tinggi yaitu 72,33% pada sampel N1-2, 83,33% pada sampel N1-3, dan 42,67% pada sampel N1-16. Fragmen litik metamorfik terdapat pada mayoritas sampel-sampel TST dan LST, namun tidak ditemukan pada sampel

HST. Persentase rata-rata fragmen litik metamorfik pada sekuen TST dan LST batupasir Formasi Nanggulan adalah 3,33% dari total komposisi batupasir.

Keterdapatan plagioklas secara rata-rata dari seluruh sampel Formasi Nanggulan adalah 4,05% dari total komposisi batupasir. Sementara k-feldspar sangat jarang ditemukan, k-feldspar hanya ditemukan pada sampel N2-75 dengan persentase 0,67% dari total komposisi batupasir.

Pada batupasir sekuen LST, ditemukan keberadaan kalsit dalam bentuk butir kalsit (bioklastika), semen kalsit dan alterasi kalsit pada fragmen litik. Keterdapatan kalsit pada sekuen LST tersebut hanya ditemukan dalam jumlah yang minimal. Pada batupasir sekuen TST, hampir pada seluruh sampel ditemukan keterdapatan kalsit dalam bentuk butir bioklastika dengan kelimpahan yang beragam. Selain itu sudah ditemukan pula penggantian mineral pada feldspar oleh kalsit. Pada batupasir sekuen HST dapat dilihat dengan jelas alterasi kalsit pada plagioklas dan fragmen litik vulkanik berupa penggantian mineral. Selain itu ditemukan juga keberadaan butir kalsit bioklastika. Kelimpahan kalsit pada sekuen HST hanya berkisar antara 0-3,33% saja, dikarenakan fasies offshore dan letak sampel yang dekat dengan maximum flooding surface pada kedalaman yang signifikan saat pengendapannya. (lihat tabel 3)

Pada batupasir sekuen LST, mineral lempung yang ditemukan adalah kaolinit, smektit-serisit dan illite-klorit. Keterdapatan kaolinit pada sampel sekuen ini menjadi karakteristik utama yang menunjukkan perbedaan antara sekuen LST ini dengan sekuen lainnya. Menurut [6] keterdapatan kaolinit pada sekuen LST dipengaruhi oleh reaksi air meteorik pada lingkungan pengendapan non-marine. Keterdapatan smektit pada sekuen ini dapat menunjukkan dua hal yaitu reaksi kimia yang terjadi akibat presipitasi atau infiltrasi mineral lempung (Ketzer et al., 2002). Keterdapatan illite-klorit merupakan hasil ubahan lanjutan pada tahapan mesogenesis dari mineral kaolinit, smektit dan serisit. Pada batupasir sekuen TST, terlihat keterdapatan smektit-serisit sebagai pengisi pori dan juga illite-klorit sebagai grain-coating di sekitar mineral detrital. Sementara mineral lempung yang cukup intensif ini disebabkan oleh presipitasi kimiawi pada tahapan eogenesis dan selanjutnya mengalami perubahan akibat suhu dan tekanan pada tahapan mesogenesis. Pada batupasir sekuen HST, mirip seperti sekuen TST ditemukan keberadaan mineral lempung sebagai semen pengisi pori. Selain itu juga ditemukan keberadaan alterasi mineral lempung sebagai mineral pengganti pada butir detrital feldspar dan fragmen litik vulkanik

Karakteristik kontak antar butir batupasir Formasi Nanggulan dari tua ke muda mulai dari sampel sekuen LST, TST hingga HST menunjukkan keberadaan kontak tangensial sebagai kontak utama yang dimiliki oleh mineral-mineral detrital. Kontak panjang dan kontak konkaf-konveks hanya menjadi kontak sekunder atau hanya terdapat secara jarang, sementara kontak sutur hanya terdapat pada 2 sampel dalam jumlah yang sangat minim.

Karakteristik tersebut menunjukkan bahwa tingkat kompaksi pada batupasir Formasi Nanggulan masih tergolong lemah karena masih dominannya kontak tangensial yang merupakan jenis kontak yang terawal terjadi dibandingkan 3 jenis kontak lainnya yang sudah dipengaruhi oleh perubahan suhu dan tekanan. Namun keberadaan kontak panjang, kontak konkaf-konveks dan kontak sutur meskipun tidak dominan telah menunjukkan keberadaan ubahan diagenesis pada Formasi Nanggulan terutama diagenesis pada tahapan eogenesis sesuai dengan Tabel 3.2. menurut Morad [6]. Secara umum seluruh Formasi Nanggulan telah mengalami diagenesis berupa kompaksi akibat peningkatan tekanan overburden dan tektonik [1].

System Tract / Tahapan Diagenesis	LST	TST	HST
Eogenesis	<ul style="list-style-type: none"> -Kaolinisasi -Porositas intragranular -Disolusi Plagioklas -Infiltrasi dan sementasi min. lempung (smektit-serisit) 	<ul style="list-style-type: none"> -Sementasi kalsit -Pembentukan glaukonit -Sementasi mineral lempung (smektit-serisit) 	<ul style="list-style-type: none"> -Sementasi kalsit -Alterasi kalsit pada plagioklas dan firk, vulkanik -Infiltrasi dan sementasi min. lempung (smektit-serisit)
Mesogenesis	<ul style="list-style-type: none"> -Pembentukan kuarsa overgrowth -Sementasi illite-klorit -Albitisasi plagioklas 	<ul style="list-style-type: none"> -Pembentukan kuarsa overgrowth -Sementasi illite-klorit -Albitisasi plagioklas 	<ul style="list-style-type: none"> -Sementasi illite-klorit -Albitisasi plagioklas
Telogenesis			<ul style="list-style-type: none"> -Disolusi Plagioklas -Porositas intragranular

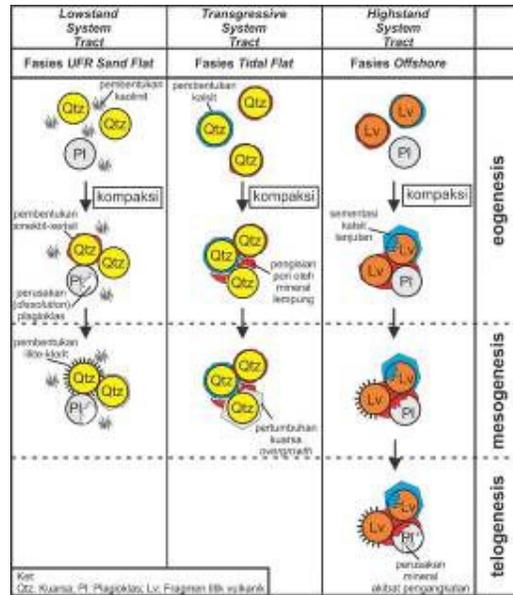
Gambar 5. Skema tahapan diagenesis dan proses diagenesis pada tiap system tract.

Perkembangan dan variasi sampel-sampel batupasir Formasi Nanggulan dari bawah ke atas tersebut menunjukkan peran dari komposisi detrital batupasir terhadap jenis ubahan diagenesis yang ditemukan dalam pengamatan petrografi sayatan tipisnya.

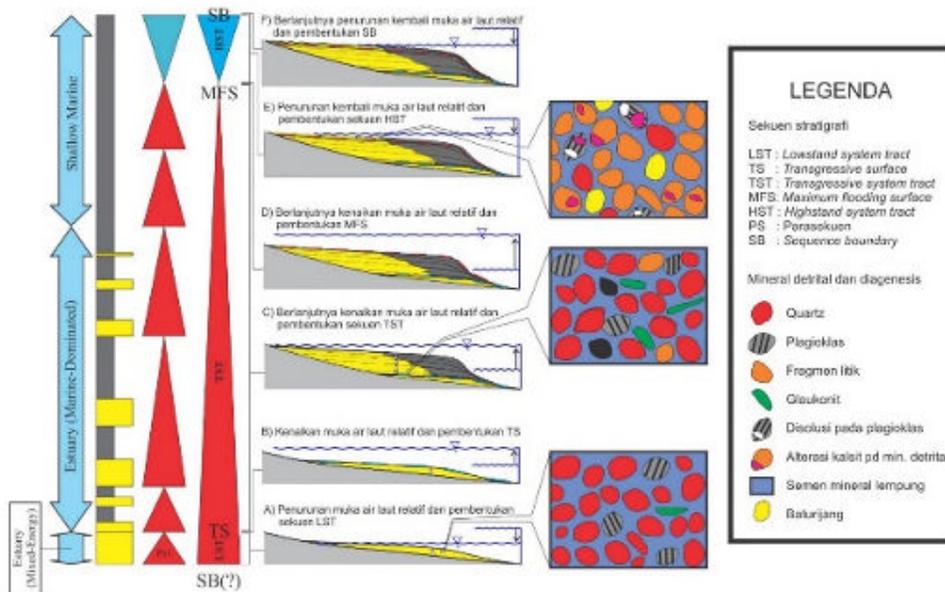
Berdasarkan pada teori hubungan antara diagenesis dan sekuen stratigrafi menurut [5] [6] dan peneliti lain yang sudah diulas dalam landasan teori Bab III, maka diketahui bahwa karakteristik diagenesis pada batupasir Formasi Nanggulan menunjukkan pola-pola yang sesuai dengan system tract sekuen stratigrafi Formasi Nanggulan menurut [3].

Pada sekuen LST (Lowstand System Tract) menurut [3] pada batupasir Formasi Nanggulan ditemukan kerusakan mineral/disolusi mineral plagioklas, pembentukan porositas intragranular, pembentukan pseudomatriks dan pembentukan kuarsa overgrowth. Berdasarkan analisis data tersebut, diketahui bahwa sekuen LST Formasi Nanggulan telah mengalami proses diagenesis yaitu pada tahapan mesogenesis. Sampel LST yang memiliki posisi dengan dengan TS (Transgressive Surface) memiliki karakteristik yang sesuai dengan posisinya menurut teori [6].

Pada sekuen TST (Transgressive System Tract) menurut [3] pada batupasir Formasi Nanggulan ditemukan sementasi karbonat (kalsit), pembentukan glaukonit serta pembentukan kuarsa overgrowth. Jika diselaraskan dengan teori hubungan diagenesis dan sekuen stratigrafi menurut [6], maka diketahui bahwa sekuen TST tersebut telah mengalami proses diagenesis yaitu pada tahapan mesogenesis. Sampel TST yang memiliki posisi dengan dengan TS (*Transgressive Surface*) dan PB (*Parasequence Boundary*/Batas Parasekuen) memiliki karakteristik yang sesuai dengan posisinya menurut teori [6].



Gambar 6. Ilustrasi perubahan diagenesis pada batupasir Formasi Nanggulan



Gambar 7. Skema dinamika sekuen stratigrafi Formasi Nanggulan

Pada sekuen HST (*Highstand System Tract*) menurut [3] pada batupasir Formasi Nanggulan ditemukan kandungan konkresi kalsit dan glaukonit. Namun tidak ditemukan sementasi karbonat lanjutan dan pembentukan kuarsa overgrowth. Dari hasil analisis data tersebut dapat diketahui bahwa sekuen HST Formasi Nanggulan telah mengalami fase diagenesis yaitu telogenesis. Sampel HST yang memiliki posisi dengan dengan MFS (*Maximum Flooding Surface*) memiliki karakteristik yang sesuai dengan posisinya menurut teori [6] (lihat gambar 7). Pada dasarnya, lingkungan pengendapan pada awalnya didominasi oleh lingkungan laut berupa estuari (*marine dominated environment*) yang kemudian seiring dengan berjalannya waktu geologi, posisi air laut relatif mengalami penurunan sehingga menyebabkan lingkungan berubah menjadi *shallow marine*.

Pada bagian bawah yang merepresentasikan sikuen LST didominasi oleh material rombakan dan diagenesis berupa kuarsa, plagioklas, dan semen.

Proses pengendapan selanjutnya adalah sikuen TST yang dicirikan dengan bertambahnya mineral detrital berupa kuarsa, plagioklas, disolusi plagioklas, glaukonit, dan mineral opak.

Pada akhir pengendapan sikuen batupasir, ditutup dengan adanya penurunan air laut relatif yang membentuk sikuen HST. Pada sikuen ini dicirikan dengan banyaknya fragmen litik dan banyaknya alterasi pada kalsit serta disolusi pada mineral plagioklas yang ada. (lihat gambar 7)

4. Kesimpulan

Berdasarkan analisis data dan pembahasan, diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Batupasir Formasi Nanggulan memiliki karakteristik utama seperti: (i) mayoritas memiliki kontak antar butir tangensial; (ii) memiliki ukuran butir pasir kasar (sekuen HST) dan ukuran butir pasir halus (sekuen TST dan LST); (iii) memiliki dominasi fragmen litik vulkanik (sekuen HST) dan dominasi kuarsa monokristalin (sekuen TST dan LST). Karakteristik terstruktur tersebut menunjukkan bahwa Formasi Nanggulan telah mengalami kompaksi. Komposisi mineral detrital pada batupasir Formasi Nanggulan mempengaruhi tipikal proses diagenesis yang terjadi.
2. Proses diagenesis yang telah mempengaruhi Formasi Nanggulan meliputi tahapan eogenesis, mesogenesis dan telogenesis. Ketiga tahapan diagenesis tersebut terbentuk baik pada sekuen LST, TST dan HST, namun telogenesis hanya terbentuk pada sekuen HST. Eogenesis ditunjukkan oleh keberadaan alterasi kalsit pada feldspar, sementasi smektit-serisit, sementasi kalsit *pore-filling*, dan pembentukan glaukonit. Mesogenesis ditunjukkan oleh pembentukan kuarsa *overgrowth*, sementasi illite-klorit, dan albitisasi plagioklas. Telogenesis pada Formasi Nanggulan ditunjukkan oleh disolusi plagioklas dan porositas intragranular pada sekuen HST.
3. Proses diagenesis yang terbentuk pada setiap *system tract* dan batas-batas sekuen pada batupasir Formasi Nanggulan sebagai berikut:
 - a) Batupasir pada LST: kaolinit, perusakan mineral detrital, infiltrasi mineral lempung, sementasi kalsit.
 - b) Batupasir pada batas TS: sementasi kalsit, pembentukan glaukonit.
 - c) Batupasir pada TST: sementasi karbonat mikrokristalin, pembentukan glaukonit, pembentukan mikrokuarsa atau kuarsa *overgrowth*.
 - d) Batupasir pada batas MFS: sementasi kalsit, pembentukan glaukonit.
 - e) Batupasir pada HST: Sementasi kalsit, infiltrasi mineral lempung.
 - f) Batupasir pada batas SB: perusakan mineral detrital.

Daftar Pustaka

- [1] Ali SA, Clark WJ, Dribus JR, Diagenesis and Reservoir Quality. Schlumberger Oilfield Review Summer 2010. 2010; 22(2).
- [2] Ansori Z. Analisis Proses Pengendapan dan Lingkungan Pengendapan Serpih Formasi Nanggulan, Kulon Progo, Yogyakarta Berdasarkan Data Batuan Inti. Yogyakarta: 2014.
- [3] Ansori A, Amijaya DA. Relationship between organic matter and mineralogy on rock fracturability (brittleness) in estuary – shallow marine shale: A case study of the Eocene Nanggulan Shale, Kulon Progo, Yogyakarta: 32nd Annual Meeting of The Society of Organic Petrology. 2015; 32.
- [4] Harrell J. A visual comparator for degrees of sorting in thin and plane sections: *jour. Sed. Petrology*. 1984; 54.
- [5] Ketzer JM, Morad S, Evans R & Al-Aasm IS. 2002. Distribution of diagenetic alterations in fluvial, deltaic, and shallow marine sandstones within a sequence stratigraphic framework: evidence from the Mullighmore Formation (Carboniferous), NW Ireland. *Journal of Sedimentary Research*. 2002; 72: 760-774.
- [6] Ketzer JM, Morad S, Al-Ramadan K, De Ros LF. 2010, The impact of diagenesis on the heterogeneity of sandstone reservoirs: A review of the role of depositional facies and sequence stratigraphy. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*. 2010; 94:1267-1309.
- [7] McBride E. A classification of common sandstones. *Jour. Sed. Petrology*. 1963; 33: 664-669.
- [8] Pettijohn FJ and Potter PE. Atlas and glossary of primary sedimentary structures. *Springer-Verlag*. 1964: 370.
- [9] Pettijohn FJ. 1975. Sedimentary rocks, 3rd ed. New York: Harper & Row. 1975:165.

- [10] Rahardjo W, Sukandarrumidi dan Rosidi HM. Peta Geologi Lembar Yogyakarta, Jawa, skala 1 : 100.000. Bandung: Dir.Geologi. 1977.
- [11] Van Bemmelen RW. 1949, The Geology of Indonesia Vol. IA General Geology of Indonesia and Adjacent Archipelagos. Martinys Nijhoff: *The Hague*. 1949: 29.
- [12] Van Wagoner JC, Mitchum RM, Campion KM, Rahmanian V. 1990, Siliciclastic sequence stratigraphy in well logs, cores and outcrops: concepts for high-resolution correlation of time and facies: *AAPG Methods in Exploration Series*. 1990; 7: 55.