

GEOLOGI DAN STUDI LINGKUNGAN PENGENDAPAN FORMASI NGRAYONG DAERAH MULYOAGUNG DAN SEKITARNYA, KECAMATAN SINGGAHAN, KABUPATEN TUBAN, PROVINSI JAWA TIMUR

Jevon Albern Telaumbanua, C. Prasetyadi, Achmad Subandrio

Jurusan Teknik Geologi, Fakultas Teknologi Mineral
Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Yogyakarta
Jl. SWK 104, Condong Catur 55283, Yogyakarta, Indonesia
Fax/Phone: 0274-487816; 0274-486403

SARI - Daerah penelitian termasuk dalam Zona Rembang. Secara administratif terletak pada wilayah Desa Mulyoagung dan sekitarnya, Kecamatan Singgahan, Kabupaten Tuban, Provinsi Jawa Timur. Secara geografis, terletak pada koordinat 582502 mT-589213 mT dan 9236278 mU-9230081 mU proyeksi UTM Zona 49 *Southern*, dengan skala peta 1: 15.000 dan luas 41,54 km². Geomorfologi daerah penelitian terdiri dari. Punggungan Lipatan (S1), Lembah Antiklin (S2) dan Lembah Sinklin (S3) Perbukitan Lapies (K1) dan Perbukitan Karst (K2). Pola pengaliran yang berkembang adalah *trellis*, *recurved trellis*, paralel, dan subparalel. Stratigrafi yang ada di daerah penelitian dengan urutan yang paling tua hingga ke muda adalah Satuan batupasir Ngrayong, Satuan batugamping Bulu, Satuan napal Wonocolo, Satuan batugamping Ledok, Satuan napal Mundu Awal, dan Satuan batugamping Paciran. Struktur geologi yang berkembang pada daerah penelitian adalah perlipatan dan sesar. Perlipatan terdiri dari Antiklin Kumpulrejo, Sinklin, dan Antiklin Gegunung. Sesar terdiri dari Sesar Tiwiyang, Sesar Gegunung. Semua struktur di atas terbentuk pada kala Plio-Pleistosen. Analisis profil dan interpretasi litofasies (aspek fisik) serta didukung oleh aspek kimia dan biologi pada Satuan batupasir Ngrayong menunjukkan asosiasi batuan pada lingkungan *shoreface* (muka pantai), tepatnya pada *middle shoreface*. Kehadiran batugamping *packstone*, baik sebagai selingan maupun sisipan menandakan lingkungan *middle shoreface* yang berasosiasi dengan sub-lingkungan *inner ramp* pada lingkungan pengendapan batuan karbonat.

Kata-kata kunci : Mulyoagung, *shoreface*, Formasi Ngrayong

PENDAHULUAN

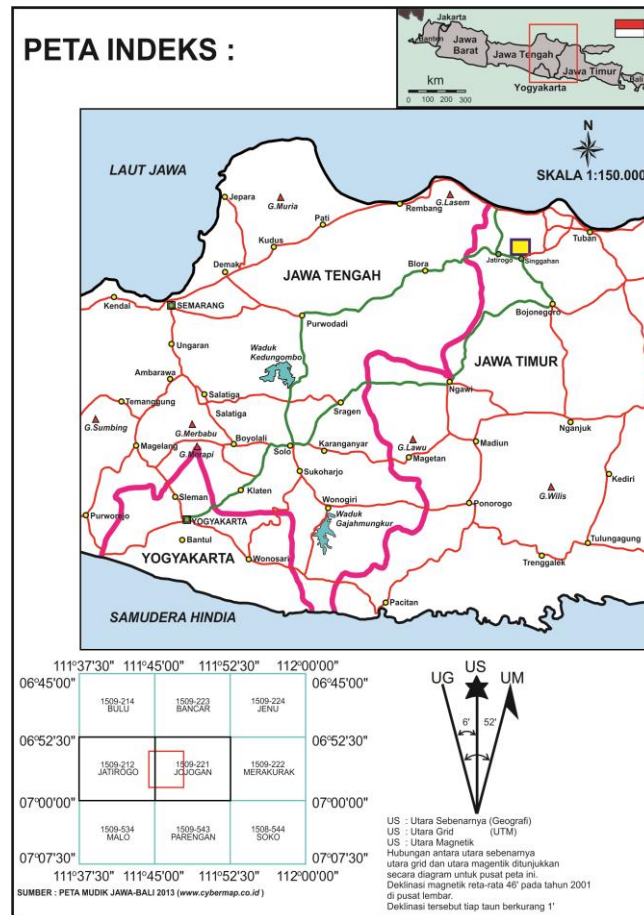
Daerah Mulyoagung dan sekitarnya, secara administratif terletak di Kabupaten Tuban, Jawa Timur. Secara fisiografi termasuk ke dalam Zona atau Subcekungan Rembang. Secara tektonik cekungan ini merupakan *retroarc foreland basin* (Dickinson, 1974 dalam Pringgoprawiro 1983, Miall, 2000). Khas dari jalur ini adalah sedimen-sedimen paparan, yang terdiri dari endapan siliklastik dan karbonat yang bebas dari unsur-unsur vulkanik. Zona Rembang dikenal sebagai salah satu cekungan penghasil migas di Indonesia. Terutama karena peran besar salah satu reservoirnya yang terkenal, yaitu Formasi Ngrayong. Formasi Ngrayong terdiri dari batupasir kuarsa, batulempung, batulanau, lignit, batugamping pasiran dan batugamping bioklastik (Pringgoprawiro 1983, Pringgoprawiro 1992, Situmorang *et al* 1992). Ragam batuan ini memberikan kita gambaran suatu cekungan pengendapan yang terdiri dari dua sistem, yaitu pada daerah transisi hingga laut dangkal. Tentu di dalamnya cukup banyak fasies yang berkembang yang dapat menjelaskan mekanisme dan jenis lingkungan pengendapannya. Fasies merupakan sifat khas, dalam hal ini adalah karakter fisika, biologi, dan kimia, dari suatu tubuh batuan, yang kemudian akan merefleksikan kapan, bagaimana, dan dimana pengendapan batuan tersebut. Didukung juga penyebaran Formasi Ngrayong di daerah penelitian cukup luas.

Penelitian ini bermaksud melakukan pemetaan geologi detail agar dapat memahami geomorfologi, stratigrafi, dan struktur geologi yang berkembang di daerah penelitian. Tujuan penelitian adalah untuk mengetahui secara utuh lingkungan pengendapan Formasi Ngrayong dan mekanismenya dengan cara mengetahui fasies Formasi Ngrayong.

Ruang lingkup masalah penelitian terdiri dari geomorfologi, yaitu pola pengaliran, faktor pengontrol, jenis bentuk lahan, stadia geomorfologi dan tahapan erosi. Masalah stratigrafi meliputi jenis litologi, penyebaran, ketebalan, urutan tua ke muda, hubungan antar satuan, umur, dan lingkungan pengendapan. Masalah struktur geologi meliputi jenis struktur, pola dan kedudukan, mekanisme, dan hubungan dengan tahapan tektonik. Sejarah geologi meliputi tahapan dan mekanisme pengendapan tiap satuan batuan dan hubungannya dengan struktur geologi dan tektonik. Potensi geologi meliputi potensi geologi positif dan negatif. Lingkungan pengendapan meliputi pengidentifikasian terhadap faktor fisika, kimia dan biologi tiap litologi dalam Satuan batupasir Ngrayong untuk menentukan fasies, mekanisme, dan lingkungan pengendapannya.

Lokasi Penelitian

Daerah penelitian secara administratif terletak di daerah Desa Mulyoagung dan sekitarnya, Kecamatan Singgahan dan Bangilan, Kabupaten Tuban, Provinsi Jawa Timur (**Gambar 1**). Daerah penelitian secara geografis terletak pada



Gambar 1. Peta letak dan kesampaian daerah penelitian. Kotak kuning merupakan daerah penelitian terletak di Desa Mulyoagung, Kecamatan Singgahan, Kabupaten Tuban, Provinsi Jawa Timur.

koordinat 582502 mE-589213 mE dan 9236278 mN-9230081 mN proyeksi UTM Zona 49 *Southern*. Luas daerah penelitian adalah 41,54 km² dengan rincian panjang dari utara ke selatan 6,7 km dan lebar dari timur ke barat 6,2 km.

METODE PENELITIAN

Tahap Persiapan

Tahap ini meliputi pemunculan ide atau topik penelitian, penentuan lokasi penelitian berdasarkan fisiografi Jawa Timur dan peta geologi regional dengan syarat Formasi Ngrayong yang cukup luas. Setelah itu penentuan lokasi penelitian berdasarkan administratif. Selanjutnya adalah persiapan peta-peta yang terkait, pemilihan pustaka dan literatur yang menunjang, dan proposal penelitian.

Tahap Pra-Pemetaan

Pada tahap ini dilakukan survey awal lapangan untuk menentukan akses yang efektif, mengetahui kondisi jalan, menentukan *basecamp*, perizinan penelitian, dan observasi singkapan-singkapan yang ditemukan di perjalanan.

Tahap Perekaman & Pengkajian Data Lapangan

Tahap ini meliputi pengambilan data di lapangan secara langsung yaitu pengamatan morfologi, deskripsi batuan, pembuatan profil, pengambilan contoh batuan pengambilan data kedudukan batuan, bidang sesar dan kekar, serta pengeplotan posisi titik pengamatan dan pengambilan foto lapangan. Dilanjutkan dengan pengerjaan studio yang terdiri dari pembuatan peta lokasi dan titik pengamatan dan penarikan batas satuan geomorfologi dan geologi.

Tahap Analisis Data

Dalam ini dilakukan analisis sayatan tipis, analisis umur dan batimetri, analisis profil, dan analisis struktur geologi .

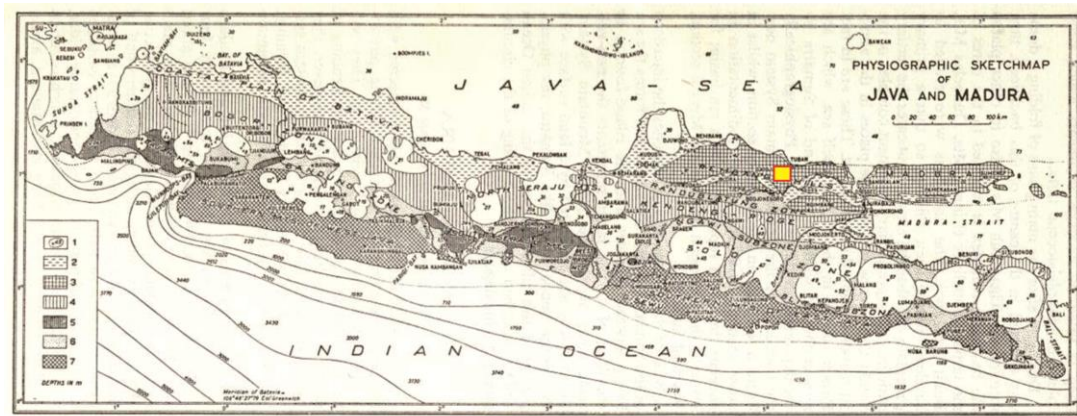
Tahap Penyelesaian & Penyajian

Setelah selesai pengerjaan tahap-tahap di atas, kemudian data-data yang telah didapatkan hasilnya dihimpun ke dalam suatu laporan pemetaan geologi yang utuh dan dipresentasikan.

GEOLOGI REGIONAL

Fisiografi

Van Bemmelen (1949) membagi Jawa bagian timur kedalam tujuh satuan fisiografi berturut - turut dari utara ke selatan sebagai berikut. Dataran alluvium Jawautara, Zona Rembang, Zona Depresi Randublatung, Zona Kendeng, Depresi tengah Jawa Timur (Zona Solo dan Subzona Ngawi), Zona Gunungapi Kuater dan Zona Pegunungan Selatan. Dalam hal ini, daerah penelitian termasuk ke dalam Zona Rembang dengan morfologi perbukitan dan lembah lipatan atau yang dikenal dengan “*the hilly district of Rembang*” (**Gambar 2**).



Gambar 2. Fisiografi Pulau Jawa (van Bemmelen, 1949). Daerah penelitian terletak pada Zona Rembang (kotak kuning).

Stratigrafi

Stratigrafi regional yang menjadi rujukan adalah Stratigrafi Cekungan Jawa Timur Utara oleh Pringgoprawiro (1983) dan Pringgoprawiro dan Sukido (1992). Stratigrafi ini dimulai dari batuan dasar yang mengalasi Zona Rembang yang didominasi oleh berbagai jenis batuan metamorf berumur Kapur seperti batusabak, filit dan batuan beku diorit (Prasetyadi, 2007). Walaupun tidak tegas namun diinterpretasikan batasnya tidak-selaras dengan Formasi Ngimbang yang diendapkan di atasnya. Sekuen di atas endapan Formasi Pra-Ngimbang dan Formasi Ngimbang didominasi oleh endapan karbonat Formasi Kujung dan Formasi Prupuh yang berumur Oligosen.

Ada pun urutan stratigrafi di atas Formasi Kujung menurut Pringgoprawiro (1983) adalah Formasi Tuban, Formasi Tawun, Formasi Ngrayong, Formasi Bulu, Formasi Wonocolo, Formasi Ledok, dan Formasi Mundu yang merupakan batuan sedimen yang terendapkan secara selaras berumur Miosen hingga Plistosen di daerah paparan dengan komposisi karbonatan yang dominan. Kemudian diakhiri dengan kehadiran batugamping Formasi Paciran yang mempunyai hubungan selaras menjari dengan Formasi Mundu.

Struktur Geologi Regional

Wilayah Jawa Timur berdasarkan pola struktur utamanya merupakan daerah yang unik karena wilayah ini merupakan tempat perpotongan dua struktur utama, yakni antara struktur arah Meratus yang berarah timurlut-baratdaya dan struktur arah Sakala yang berarah timur-barat. Arah Meratus lebih berkembang di daerah lepas pantai Cekungan Jawa Timur, sedangkan arah Sakala berkembang sampai ke daratan Jawa bagian timur.

Struktur arah Meratus adalah struktur yang sejajar dengan arah jalur konvergensi Kapur Karangsambung-Meratus. Pada awal Tersier, setelah jalur konvergensi Karangsambung-Meratus tidak aktif, jejak-jejak struktur arah Meratus ini berkembang menjadi struktur regangan dan membentuk pola struktur tinggian dan dalaman.

Struktur arah Sakala yang berarah barat-timur saat ini dikenal sebagai zona sesar mendatar RMKS (Rembang-Madura-Kangean-Sakala). Pada mulanya struktur ini merupakan struktur *graben* yang diisi oleh endapan paling tua dari Formasi Pra-Ngimbang yang berumur Paleosen-Eosen Awal. *Graben* ini kemudian mulai terinversi pada Miosen menjadi zona sesar mendatar RMKS. Berdasarkan sedimen pengisi cekungannya dapat disimpulkan sesar arah Meratus lebih muda dibandingkan dengan sesar arah Sakala.

Selain arah Sakala, struktur arah barat-timur lainnya adalah struktur yang oleh Pulunggono dan Martodjojo (1994) disebut sebagai arah Jawa. Struktur ini pada umumnya merupakan jalur lipatan dan sesar naik akibat kompresi yang berasal dari subduksi Neogen Lempeng Indo-Australia. Jalur lipatan dan sesar naik ini terutama berkembang di Zona Kendeng yang membentuk batas sesar berupa zona *overthrust* antara Zona Rembang dan Zona Kendeng. Bidang *overthrust* yang nampak memotong sampai ke lapisan yang masih berkedudukan horisontal menunjukkan pensesarannya terjadi paling akhir dibandingkan dengan pembentukan struktur yang lain (arah Meratus dan arah Sakala).

WAKTU DLM. JUTAAN TAHUN	KLAS HURUF Komp. Von Gorsel 1988	ZONASI BLOW (1969)	SATUAN KRONO STRATIGRAFI	PRINGGOPRAWIRO & SUKIDO (1992)		
				FORMASI	ANGGOTA	SIMBOL LITOLOGI
1,65		N . 23	PLISTOSEN	LIDAH	DAN	
		N . 22				
5,2	Tgh	N . 21	PLIOSEN	SLR		
		N . 20				
		N . 19				
		N . 18				
		N . 17				
		N . 16				
10,2	Tf . 3	N . 15	MIOSEN	LEDOK		
		N . 14				
		N . 13				
		N . 12				
		N . 11				
		N . 10				
16,2	Tf 1 - 2	N . 9	MIOSEN	WONO-COLO		
		N . 8				
		N . 7				
		N . 6				
		N . 5				
		N . 4				
25,2	Te . 5	P . 3	OLOGOSEN	BULU		
		P . 2				
		P . 1				
		P . 19				
		P . 18				
		P . 17				
36	Tc	P . 16	OLOGOSEN	NGRAYONG		
		P . 15				
		P . 14				
		P . 10				
		P . 9				
		P . 8				
39,4	Tb	P . 7	EUSEN	TAWUN		
		P . 6				
		P . 4				
		P . 3				
		P . 2				
		P . 1				
60,2	Ta	P . 1	EUSEN	TUBAN		
		P . 19				
		P . 18				
		P . 16				
		P . 15				
		P . 14				
66,5		P . 1	PALEO-SEN	PRUPUH		
		P . 20				
		P . 19				
		P . 18				
		P . 17				
		P . 16				
66,5		P . 1	PALEO-SEN	KUJUNG		
		P . 2				
		P . 3				
		P . 4				
		P . 6				
		P . 7				
66,5		P . 1	PALEO-SEN	NGIMBANG		
		P . 2				
		P . 3				
		P . 4				
		P . 6				
		P . 7				
66,5		P . 1	PALEO-SEN	BASEMENT		
		P . 2				
		P . 3				
		P . 4				
		P . 6				
		P . 7				

Gambar 3. Stratigrafi Cekungan Jawa Timur Utara oleh Pringgoprawiro dan Sukido (1992)

GEOLOGI DAERAH PENELITIAN

Geomorfologi

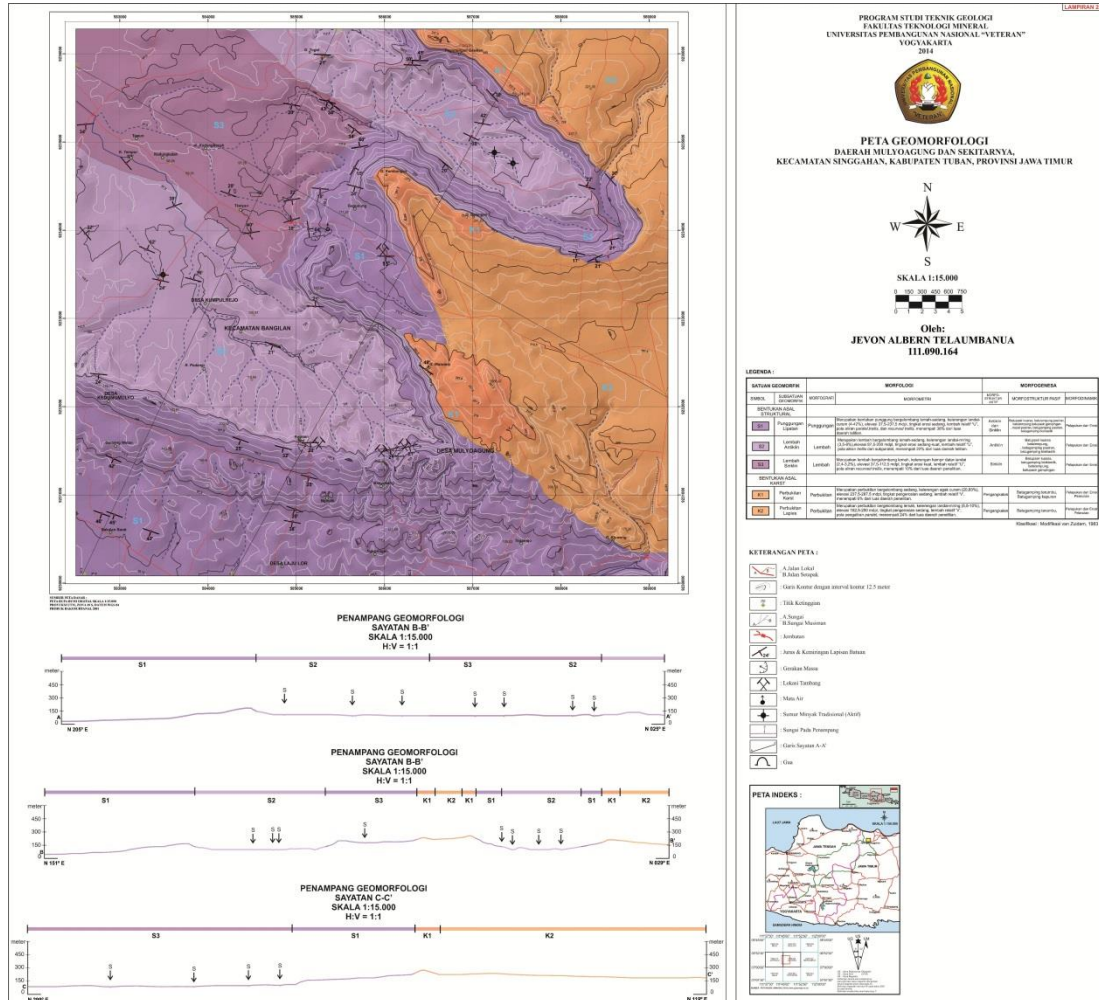
Berdasarkan aspek-aspek geomorfologi yang dikemukakan oleh van Zuidam (1979), Verstappen (1985), dan Thornbury (1969) yang meliputi faktor-faktor litologi, struktur geologi, dan stadia geomorfik, maka penulis membagi satuan geomorfik daerah penelitian menjadi 2 satuan bentuk asal, yaitubentuk asal struktural yang terdiri dari tiga satuan geomorfik, yaitu Satuan Punggungan Lipatan (S1), Satuan Lembah Antiklin (S2) dan Satuan Lembah Sinklin (S3) dan satuan bentuk asal karst yang terdiri dari dua satuan geomorfik, yaitu Satuan Perbukitan Lapies (K1) dan Satuan Perbukitan Karst (K2) (**Gambar 3**).

Satuan Punggungan Lipatan (S1)

Satuan ini menempati 38% dari luas daerah penelitian. Tingkat kelerengan landai-curam (4-42%). Morfostruktur aktifnya dikontrol oleh perlipatan antiklin dengan kedudukan batuan yang berlawanan arah (relatif utara-selatan dan sinklin dengan kedudukan batuan yang saling bertemu (relatif utara-selatan). Sedangkan morfostruktur pasifnya dikontrol oleh batupasir kuarsa, batulempung pasir, batupasir gamping, napal pasir, dan batugamping bioklastik. Pola pengaliran yang berkembang paralel, trellis, dan subparalel. Proses-proses eksogen (morfodinamik) dikontrol oleh pelapukan dan erosi.

Satuan Lembah Antiklin (S2)

Satuan ini menempati 22% dari luas daerah penelitian. Tingkat kelerengannya landai-miring (3,5-8%). Morfostruktur aktifnya dikontrol oleh pelipatan antiklin dengan kedudukan batuan yang berlawanan arah (relatif utara-selatan) dan sesar mendatar berarah relatif utara-selatan. Morfostruktur pasif berupa batupasir kuarsa, batulempung, batugamping



Gambar 4. Geomorfologi Daerah Mulyoagung

pasiran dan batugamping bioklastik. Pola pengaliran yang berkembang adalah trellis dan subparalel. Proses-proses eksogen (morfodinamik) dikontrol oleh pelapukan dan erosi.

Satuan Lembah Sinklin (S3)

Satuan ini menempati 10% dari luas daerah penelitian. Tingkat kelerengannya hampir datar-landai (2,4-3,2%). Morfostruktur aktifnya lebih dikontrol oleh pelipatan sinklin dengan kedudukan batuan yang saling bertemu (relatif utara-selatan) dan sesar mendatar kiri. Morfostruktur pasif berupa batupasir kuarsa, batulempung, batupasir gampingan dan batugamping bioklastik. Pola pengaliran yang berkembang adalah trellis dan *recurved trellis*. Proses-proses eksogen (morfodinamik) dikontrol oleh pelapukan dan erosi.

Satuan Perbukitan Lapies (K1)

Satuan ini menempati 24% dari luas daerah penelitian. Tingkat kelerengannya landai-miring (5,5-10%). Morfostruktur aktifnya dikontrol oleh pengangkatan. Morfostruktur pasif berupa batugamping terumbu. Proses-proses eksogen (morfodinamik) dikontrol oleh pelapukan dan erosi dan pelarutan.

Satuan Perbukitan Karst (K2)

Satuan ini menempati 6% dari luas daerah penelitian. Tingkat kelerengannya agak curam (20,83%). Morfostruktur aktifnya dikontrol oleh pengangkatan. Morfostruktur pasif berupa batugamping terumbu dan batugamping bioklastik. Proses-proses eksogen (morfodinamik) dikontrol oleh pelapukan dan erosi dan pelarutan.

Stadia Geomorfologi dan Tahapan Erosi

Berdasarkan bentuk lembah sungai, tingkat erosi, kondisi pelapukan batuan, pola geometri pemanjangan tubuh sungai, sudut kelerengan pada morfologi alam dan lain sebagainya maka stadia geomorfologi dan tahapan erosi pada daerah penelitian adalah stadia muda hingga stadia dewasa.

Stratigrafi

Berdasarkan tatanan di atas, data lapangan, dan analisa laboratorium yang dikonfirmasi dan dibandingkan dengan peneliti terdahulu, daerah penelitian disusun oleh enam satuan batuan yang secara berurutan dari tua ke muda, yaitu

GEOKRONOLOGI		BLOW (1969)	TEBAL (M)	SATUAN BATUAN	FORMASI	LITOLOGI	PEMERIAN	FOSIL	BATIMETRI				INTERPRETASI LINGKUNGAN PENGENDAPAN	KELASIFIKASI
ZAMAN	KALA								Derajat Neritik Tepi	Neritik Tengah	Neritik Luar	Bathial		
KUATER	PLEISTOSEN	22	42,25	BATUGAMPING	PACIRAN	Batugamping terumbu, mengandung komponen karal dan foram besar, masif; sisipan tipis batugamping bioklastik mengandung foram besar pecah-utahi dengan batugamping kapuran (cherty) di bagian atas.	Plankton & beatus tidak ditemukan Fosil lainnya : Karal dan ganggang, cangkang <i>pelecypoda</i> foram besar <i>Cyclops</i>					Organic Build Up	W I L S o n (1975)	
		21												
TERSIER	NEOGEN	Akhir	20											
			19	> 306	NAPAL	MUNDU	Napal dan napal pasiran, banyak mengandung foraminifera plankton, lamniasi sejajar dan masif, dengan sisipan batugamping pasiran dan batupasir gampingan di bagian atas, lamniasi sejajar.	Plankton: <i>Gy. abietum</i> , <i>Gy. obliquovalvata</i> Beatus: <i>Eponides amillarum</i> , <i>Zenitaria</i> sp., <i>Chioda swadlowi</i>					Open sea shelf	
			18	142,5	BATUGAMPING	LEDOK	Perlipisan napal pasiran dengan batugamping pasiran, membentuk struktur <i>planar cross-bedding</i> dan batupasir gampingan di bagian atas, masif.	Plankton: <i>Gy. microneca</i> , <i>Gy. abietum</i> , <i>Gy. pleistomida</i> , <i>Gy. oblonga</i> Beatus: <i>Nudularia</i> sp., <i>Tandaria</i> sp., <i>Uvigerina parvula</i> , <i>Eponides amillarum</i> Ichneofosil: <i>Thalassimida</i>					Deep shelf margin	
	17	83	NAPAL	WONOCOLO	Perlipisan napal pasiran dengan batugamping pasiran, banyak mengandung foram plankton, struktur sedimen perlipisan sejajar.	Plankton: <i>Gy. pleistomida</i> , <i>Gy. ballinica</i> Beatus: <i>Uvigerina scavenger</i> , <i>Tarbovella Jantoli</i>						Open sea shelf		
	16	183	BATUGAMPING	BULU	Batugamping bioklastik & batugamping pasiran berlapis-tipis (<i>glaucon</i>) dengan sisipan batupasir gampingan di bagian atas, <i>planar cross-bedding</i> .	Plankton: <i>Gy. psorbuloides</i> , <i>Gy. oblonga</i> Ichneofosil: <i>Thalassimida</i> Beatus: <i>Ammonia beccarii</i> , <i>Cyclops</i> sp. <i>resedy</i> Forbes: <i>Lepidocyclina</i> sp., <i>Cyclops</i> sp. Kemponen Karal						Winnoved edge sands Foreslope		
	15	> 481,5	BATUPASIR	NGRAYONG	Batupasir kuarsa, putih kekuningan-putih bersih (<i>clean sand</i>), berukuran pasir halus-kasar, mengkilap ke atas, disusut oleh kuarsa, serempak gampingan, dan mengandung cerat karbon, struktur sedimen, <i>trough</i> & <i>planar cross-bedding</i> , lamniasi sejajar, <i>mass clay</i> , perlipisan sejajar, & batubasi, sisipan batugamping bioklastik, mengandung foram besar, potongan karal, bioturbasi, batugamping pasiran, mengandung cerat karbon, perlipisan sejajar dan batulempung, mengandung nodul hematit, dan lemping gipsium, perlipisan sejajar.	Plankton: <i>Gy. willisii</i> , <i>Gy. psorbuloides</i> , <i>Gy. saxatifer</i> Beatus: <i>Amphioxys</i> sp., <i>Elphidium</i> sp., <i>Ammonia beccarii</i> Forbes: <i>Megopsina</i> sp., <i>Lepidocyclina</i> sp., <i>Cyclops</i> sp. Ichneofosil: <i>Silicilia</i> , <i>Thalassimida</i> & <i>Criciana</i> Fosil lainnya: <i>Pelecypoda</i> , <i>Gammapoda</i> , Pecahan Karal						Middle Shoreface Lower Shoreface		
		13											Reineck & Singh (1980)	

Gambar 5. Stratigrafi daerah Mulyoagung dan sekitarnya (Telaumbanua, 2015)

Satuan batupasir Ngrayong

Terdiri dari batupasir kuarsa dengan sisipan batugamping bioklastik, batugamping pasiran, dan batulempung. Luas ± 40% dari luas daerah penelitian. Umur N13-N16 (Miosen Tengah-Miosen Akhir). Lingkungan pengendapannya adalah *shoreface* pada batimetri Neritik Tepi.

Satuan batugampingBulu

Terdiri dari batugamping bioklastik, batugamping pasiran, dan sisipan batupasir gampingan. Luas ±18% dari luas daerah penelitian. Umur N16 (Miosen Akhir). Lingkungan pengendapannya adalah *foreslope* pada batimetri Neritik Tepi – Neritik Luar. Selaras dengan Satuan batupasir Ngrayong di bawahnya.

Satuan napal Wonocolo

Terdiri dari napal pasiran dan batugamping pasiran. Luas ±5% dari luas daerah penelitian. Umur N17 (Miosen Akhir). Lingkungan pengendapannya adalah *open sea shelf* pada batimetri Neritik Tengah – Bathial Atas. Selaras dengan Satuan batugamping Bulu di bawahnya.

Satuan batugampingLedok

Terdiri dari batugamping pasiran, napal pasiran dan batupasir gampingan. Luas ±3% dari luas daerah penelitian. Umur N17-N18 (Pliosen Awal). Lingkungan pengendapannya adalah *deep shelf margin* pada batimetri Neritik Tepi – Neritik Luar. Selaras dengan Satuan napal Wonocolo di bawahnya.

Satuan napal Mundu

Terdiri dari napal, batugamping pasiran, dan batupasir gampingan. Luas ±8% dari luas daerah penelitian. Umur N19 (Pliosen Awal). Lingkungan pengendapannya adalah *open sea shelf* pada batimetri Neritik Luar – Bathial Atas. Selaras dengan Satuan batugamping Ledok di bawahnya.

Satuan batugampingPaciran

Terdiri dari batugamping terumbu, batugamping bioklastik, dan batugamping kapuran. Luas ±26% dari luas daerah penelitian. Umur Pleistosen. Lingkungan pengendapannya adalah *organic buildup* pada litoreal-sublitoral (>50 meter). Tidak selaras (*angular unconformity*) dengan satuan-satuan di bawahnya.

Struktur Geologi

Struktur geologi teramati yang terdapat di daerah penelitian berupa sesar mendatar berarah relatif barat daya-timur laut dan lipatan berarah tenggara-barat laut dan sesar interpretatif berarah relatif barat laut-tenggara.

Antiklin Kumpulrejo

Lipatan ini memiliki arah arah sumbu barat-timur dan terpotong oleh Sesar Tiwiyang-Gegunung berarah relatif (barat daya-timur laut). Nama lipatannya adalah *UprightHorizontal Fold* (Fluety, 1971).

Sinklin Tiwiyang

Lipatan ini memiliki arah arah sumbu barat-timur dan terpotong oleh Sesar Tiwiyang-Gegunung berarah relatif (barat daya-timur laut). Nama lipatannya adalah *UprightHorizontal Fold*(Fluety, 1971).

Antiklin Gegunung

Lipatan ini memiliki arah arah sumbu barat-timur dan terpotong oleh Sesar Tiwiyang-Gegunung berarah relatif (barat daya-timur laut). Nama lipatannya adalah *UprightHorizontal Fold*(Fluety, 1971).

Sesar Tiwiyang

Sesar ini merupakan sesar mendatar kiri dengan arah barat daya-timur laut dan memotong Antiklin Kumpulrejo, Sinklin Tiwiyang, dan Antiklin Gegunung. Penamaan sesar ini adalah *Left Slip Fault*(Rickard, 1972) atau Sesar Mendatar Kiri.

Sesar Gegunung

Sesar ini merupakan sesar mendatar kiri dengan arah barat daya-timur laut dan memotong Antiklin Kumpulrejo, Sinklin Tiwiyang, dan Antiklin Gegunung. Sesar ini masih berhubungan dengan Sesar Tiwiyang. Penamaan sesar ini adalah *Left Slip Fault*(Rickard, 1972)atau Sesar Mendatar Kiri (**Gambar 7**).

Mekanisme Struktur Geologi Daerah Penelitian

Mekanismenya adalah sebagai berikut ; diawali dengan terbentuknya struktur lipatan , yaitu Antiklin Kumpulrejo, Sinklin Tiwiyang, dan Antiklin Gegunung dengan arah sumbu baratlaut-tenggara N (98-116)⁰ E, yang terbentuk akibat adanya suatu tegasan kompresi yang relatif lemah secara terus-menerus berarah Utara-Selatan, berkisar N (9-26)⁰ E. Setelah pengendapan Satuan batugamping Paciran, tegasan kompresi ini aktif kembali hingga melampaui batas elastisitas dan plastisitas batuan dan akhirnya membentuk struktur sesar mendatar kiri Tiwiyang dan sesar mendatar kiri Gegunung yang merupakan satu sistem dan berarah baratdaya-timurlaut. Sesar interpretasi berarah baratlaut-tenggara merupakan sesar yang diperkirakan terjadi pada saat pengangkatan setelah pengendapan satuan batugamping Paciran. Sesar ini diinterpretasikan berdasarkan adanya kelurusan pada peta topografi, citra DEM, dan foto udara.

Sejarah Geologi Daerah Penelitian

Fase pertama yaitu terjadi pada saat Pra Tersier hingga Eosen akhir dimana terbentuk Formasi Pra Ngimbang langsung diatas *basement*. Pada saat Oligosen awal hingga akhir dimana cekungan tersebut mengalami *subsidence* sehingga yang menghasilkan genang laut dan terendapkannya Formasi Kujung dan Formasi Prupuh. Pada Miosen awal hingga akhir pada fase ini Rembang masih berupa *fore- arc basin* dan telah memasuki fase *sagging-inverse*. Pada waktu inilah terendapkan Formasi Tawun.

Kemudian berlanjut pada fase pengendapan Satuan batupasir Ngrayong, pada Miosen Tengah, yang terdiri dari batupasir kuarsa dengan sisipan batugamping bioklastik, batugamping pasiran, dan batulempung yang diendapkan pada lingkungan *shoreface* (Reineck & Singh, 1980). Kemudian pada Miosen Akhir bagian bawah, terjadi transgresi yang menyebabkan daerah penelitian menjadi lingkungan pengendapan paparan karbonat dangkal dan terendapkanlah Satuan batugamping Bulu yang terdiri dari batugamping bioklastik dan batugamping pasiran dengan sisipan batupasir gampingan di bagian atas, terendapkan pada kedalaman Neritik Tepi-Tengah pada lingkungan *foreslope* (Wilson,1975).

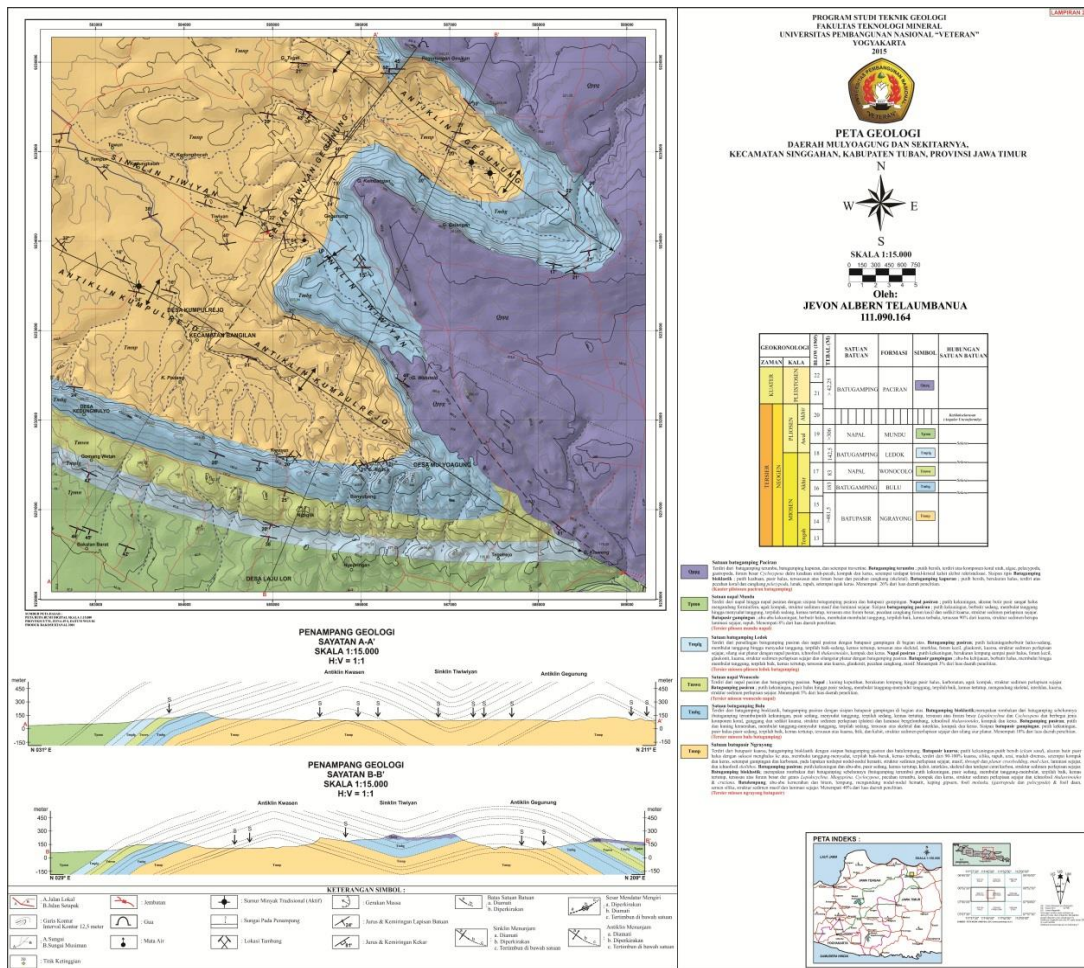
Satuan napal Wonocolo yang terdiri dari napal pasiran kaya akan forminifera plangton dan batugamping pasiran, terendapkan pada Miosen Akhir bagian atas pada lingkungan *open shelf* (Wilson, 1975) pada kedalaman Neritik Tengah-Batial Atas. Kemudian fase transgresi masih berlangsung dan mengendapkan Satuan batugamping Ledok pada Miosen Akhir bagian atas hingga Pliosen Awal bagian bawah (N18), yang terdiri dari perselingan batugamping pasiran dengan napal pasiran dengan batupasir gampingan di bagian atas, pada kedalaman Neritik Luas-Batial Atas pada lingkungan *deep shelf margin* (Wilson,1975). Fase Transgresi ini tetap berlanjut hingga diendapkannya Satuan napal Mundu pada Pliosen awal bagian atas (N19) pada kedalaman yang lebih besar yaitu 200-500 meter (Neritik Luar-Batial Atas), yang terdiri dari napal dan napal pasiran pada lingkungan *open shelf* (Wilson,1975) di bagian atasnya diendapkan batugamping pasiran dan batupasir gampingan yang menunjukkan adanya pendangkalan dari lingkungan pengendapan. Pada kala Plio-Pleistosen terjadi pengangkatan, pelipatan dan pensesaran di Cekungan Jawa Timur Utara termasuk di daerah penelitian yang menghasilkan Antiklin Kumpulrejo, Sinklin Tiwiyang, Antiklin Gegunung berarah relatif baratlaut-tenggara. Pada kala Pleistosen daerah penelitian mengalami genang laut (transgresi) sehingga memungkinkan pengendapan Satuan batugamping Paciran yang terdiri dari batugamping terumbu dengan sisipan tipis batugamping bioklastik dan batugamping kapuran yang diendapkan pada zona litoral hingga sublitoral dengan kedalaman tidak melebihi 50 m pada lingkungan *organic build up* (Wilson,1975). Setelah pengendapan Satuan batugamping Paciran kegiatan tektonik Plio-Pleistosen terakhir yang mengakibatkan terjadinya Sesar Tiwiyang-Gegunung berarah relatif baratdaya-timurlaut, kemudian mengalami proses erosi dan denudasi lanjut sehingga memperlihatkan morfologi seperti yang tampak sekarang ini.

LINGKUNGAN PENGENDAPAN SATUAN BATUPASIR NGRAYONG

Untuk menentukan mekanisme & lingkungan Formasi Ngrayong secara utuh, maka penulis melibatkan tiga (3) parameter utama, yaitu parameter fisika, kimia, dan biologi.

Parameter fisika; Dilihat dari tekstur dan struktur sedimen yang berkembang penulis membaginya menjadi 8 (delapan) litofasies, yaitu **Spc** (*planar cross-bedding sandstone*), **Slm** (*parallel lamination sandstone*), **Ss** (*parallel stratified sandstone*), **Stc** (*trough cross-bedding sandstone*), **Ps** (*planar stratified packstone*), **Pl** (*parallel lamination packstone*), **Ms** (*massive sandstone*), dan **Cs** (*planar stratified claystone*). Kehadiran dari struktur sedimen *planar* dan *trough cross-bedding*, laminasi sejajar dan ukuran butir pasir halus hingga sedang menunjukkan lingkungan pengendapan *shoreface* (Reineck & Singh, 1980 dalam Boggs, 2006) (**Gambar 7**).

Parameter kimia ; Seluruh batupasirnya disusun oleh kuarsa. Dari segi variasi warna batuan terdapat batupasir dengan warna putih bersih (*clean sand*). Warna kuning dan merah menandakan kehadiran dari mineral oksida seperti besi (*iron*) dan hematit. Selain itu terdapat unsur karbon yang tidak *in situ* tetapi berasal dari lingkungan pengendapan di

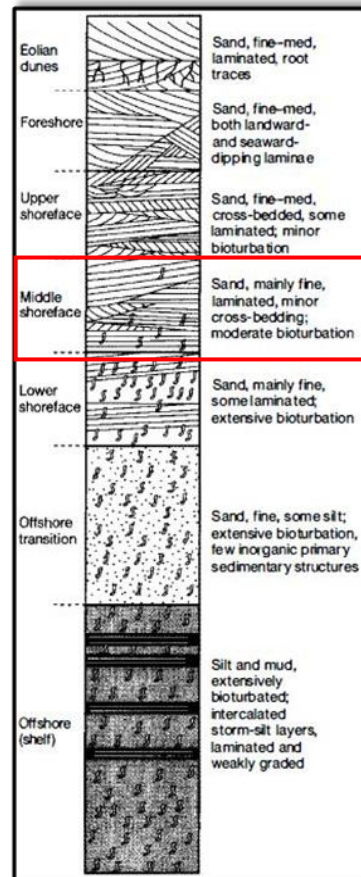


Gambar 6. Peta Geologi Daerah Mulyoagung dan sekitarnya

belakangnya seperti *marsh* atau *lagoon*, dan juga kehadiran dari mineral dari gipsum yang merupakan mineral evaporasi, bukti dari lingkungan pantai.

Parameter biologi; terdapat fosil moluska golongan *gastropoda* dan *pelecypoda* dalam kondisi pecah sebagai penanda arus kuat. Terdapat fosil daun bersamaan dengan butiran halus hematit sebagai penanda endapan pantai. Kehadiran dari fosil plangton disebabkan oleh menjulang kontak dengan Satuan batugamping Bulu yang pengendapannya sedikit lebih dalam. Kehadiran foram bentos menunjukkan kedalaman pengendapan Neritik Tepi. Terdapat batugamping bioklastik yang disusun oleh rombakan terumbu dan foram besar dari golongan *Cyclocypus*, *Lepidocyclina*, dan *Miogypsina* dengan fasies *packstone* menunjukkan asosiasi *shoreface* dengan lingkungan pengendapan karbonat *inner ramp* ((Tucker 2002, hal.104). Melimpahnya kehadiran fosil jejak atau

ichnofosil *Skolithos* menunjukkan lingkungan pengendapan *middle shoreface* (Mangano & Buatois, 2011). Berdasarkan penjelasan di atas maka secara umum bahwa Satuan batupasir Ngrayong diendapkan pada lingkungan pengendapan pantai hingga laut dangkal. Secara khusus berdasarkan analisis profil, Satuan batupasir Ngrayong diendapkan pada sub-lingkungan pengendapan *shoreface* (muka pantai) (Reineck & Singh, 1980 dalam Boggs, 2006) dan berasosiasi dengan lingkungan pengendapan batuan karbonat *inner ramp* (Tucker 2002, hal.104) ditandaicukup tingginya kehadiran batugamping, baik sebagai selingan maupun sebagai sisipan.



Gambar 7. Stratigrafi lingkungan pengendapan pantai (Reineck & Singh, 1980, dalam Boggs, 2006, hal.315)

POTENSI GEOLOGI

Potensi Geologi Positif

Hidrokarbon ; ditemukan pada sumur-sumur peninggalan Belanda dan diusahakan warga dengan menyuling secara tradisional melalui koperasi.

Penambangan batupasir kuarsa ; ditambang secara tradisional oleh warga untuk kemudian dijual ke industri perkapalan untuk membersihkan karat kapal dan industri kaca untuk bahan dasar pembuatan piring dan gelas kaca.

Penambangan batugamping ; ditambang secara tradisional dimanfaatkan untuk bahan dasar bangunan rumah dan pengeras jalan serta dijual untuk bahan dasar pembuatan semen

Potensi batulempung ; dimanfaatkan untuk pembuatan batu bata dan genteng serta bahan dasar pembuatan semen

Potensi air terjun dan mata air ; air terjun dimanfaatkan untuk mengairi sawah dan mata air dimanfaatkan warga untuk mandi dan mencuci

Potensi Geologi Negatif

Pencemaran air ; tumpahan minyak dari sumur-sumur tradisional menyebabkan pencemaran lingkungan dan mencuri biota di sekitarnya.

Pergerakan massa ; umumnya terjadi pada singkapan-singkapan Satuan batupasir Ngrayong, dengan material pasir dan batu, yang sifatnya *loose*, dengan kemiringan lereng tertentu, berbahaya ketika musim hujan.

KESIMPULAN

1. Daerah penelitian terdiri 5 satuan geomorfik, yaitu Satuan Punggungan Lipatan (S1), Satuan Lembah Antiklin (S2), Satuan Lembah Sinklin (S3) dan bentukan asal karst yang terdiri dari dua satuan geomorfik, yaitu Satuan Perbukitan Lapias (K1) dan Satuan Perbukitan Karst (K2). Pola pengaliran yang berkembang adalah *Trellis*, *Recurved Trellis*, *Paralel*, dan *Subparalel*.
2. Stratigrafi dari tua ke muda adalah Satuan batupasir Ngrayong yang disusun oleh batupasir kuarsa, batugamping bioklastik, batugamping pasiran, dan batulempung, berumur Miosen Tengah-Akhir (N13-N16), terendapkan pada kedalaman Neritik Tepi pada lingkungan *shoreface*. Satuan batugamping Bulu terdiri dari batugamping bioklastik, batugamping pasiran dan sisipan batupasir gampingan. Berumur Miosen Akhir (N16), terendapkan pada kedalaman Neritik Tepi-Tengah pada lingkungan *foreslope*.
3. Satuan napal Wonocolo disusun oleh napal pasiran dan batugamping pasiran. Berumur Miosen Akhir (N18), terendapkan pada kedalaman Neritik Tengah-Batial Atas pada lingkungan *open sea shelf*. Satuan batugamping Ledok disusun oleh perselingan batugamping pasiran dengan napal pasiran dengan batupasir gampingan. Berumur Miosen Akhir-Pliosen Awal (N19) diendapkan pada kedalaman Neritik Luas-Batial Atas pada lingkungan *deep shelf margin*. Satuan napal Mundu disusun oleh napal dan napal pasiran dengan sisipan batugamping pasiran dan batupasir gampingan di bagian atas. Berumur Pliosen Awal (N19) diendapkan pada kedalaman Neritik Luas-Batial Atas pada lingkungan *open sea shelf*.
4. Satuan batugamping Paciran disusun batugamping terumbu dengan sisipan tipis batugamping bioklastik, dan batugamping kapuran. Berumur Pleistosen diendapkan pada lingkungan *organic build up*.
5. Struktur geologi yang berkembang pada daerah penelitian adalah berupa lipatan dan sesar. Antiklin Kumpulrejo, Sinklin Tiwiyon, dan Antiklin Gunung merupakan lipatan berarah relatif baratlaut-tenggara dengan jenis lipatan *Upright Horizontal Fold*. Sesar Tiwiyon dan Sesar Gunung merupakan sesar berarah relatif barat daya-timurlaut. Jenis sesarnya adalah *Left Slip Fault* atau Sesar Mendatar Kiri. Sesar interpretatif berarah relatif baratlaut-tenggara berdasarkan kenampakan kelurusan morfologi pada peta topografi, citra DEM dan Landsat.
6. Sejarah geologi dimulai dari pengendapan Fm. Ngimbang langsung di atas basement. Kemudian, disusul oleh pengendapan yang menerus dan selaras mulai Fm. Kujung Prupuh, Tuban hingga Tawun pada Miosen Awal-Miosen Tengah. Pada Miosen Tengah-Akhir terendapkan Satuan batupasir Ngrayong. Pada Miosen Akhir terendapkan secara selaras Satuan batugamping Bulu. Kemudian terendapkan Satuan napal Wonocolo selaras di atas Satuan batugamping Bulu disusul oleh Satuan batugamping Ledok di atasnya. Kemudian terendapkan secara selaras lagi Satuan napal Mundu.
7. Setelah itu terjadi tahap deformasi pada daerah penelitian yang mengakibatkan perlipatan yang relatif lemah. Kemudian terendapkan Satuan batugamping Paciran hingga kemudian disusul oleh tahap lanjutan dari deformasi Plio-Pleistosen yang mengakibatkan pengangkatan dan pensesaran.
8. Berdasarkan pengamatan lapangan mengenai tekstur batuan dan struktur sedimen yang berkembang (fisika), penulis membagi litologi Satuan batupasir Ngrayong menjadi delapan litofasies, yaitu Spc (*planar cross-bedding sandstone*), Slm (*parallel lamination sandstone*), Ss (*parallel stratified sandstone*), Stc (*trough cross bedding sandstone*), Ps (*planar stratified packstone*), Pl (*parallel lamination packstone*), Ms (*massive sandstone*), dan Cs (*planar stratified claystone*). Berdasarkan karakter kimia, Satuan batupasir Ngrayong mengandung kuarsa, hematit, karbon, dan gipsum. Karakter biologi terdiri dari kehadiran gastropoda dan pelecypoda, plangton dan bentos, fosil daun, foram besar, dan fosil jejak. Berdasarkan keterdapatannya karakter-karakter di atas maka Satuan batupasir Ngrayong diendapkan pada lingkungan pantai hingga laut dangkal. Secara spesifik berdasarkan analisis profil, Satuan batupasir Ngrayong diendapkan pada lingkungan pantai tepatnya di *middle shoreface*. Adanya selingan ataupun sisipan batugamping *packstone* di dalam setiap profil mengindikasikan asosiasi dengan lingkungan *inner ramp* pada lingkungan pengendapan batuan karbonat.
9. Potensi geologi daerah penelitian terdiri dari dua, yaitu potensi positif & potensi negatif. Potensi positifnya adalah keberadaan hidrokarbon, penambangan batupasir kuarsa, penambangan batugamping, penambangan batulempung, dan pemanfaatan air terjun dan mata air. Potensi negatifnya adalah pencemaran air dan gerakan massa.

DAFTAR PUSTAKA

- Asikin, S., 1974. *Evolusi geologi Jawa Tengah dan Sekitarnya Ditinjau Dari Segi Tektonik Dunia yang Baru*. Laporan tidak dipublikasikan, disertasi, Dept. Teknik Geologi ITB.
- Bandy, O.I., 1967, *Foraminiferal Indices in Paleontology*, Texas W.H. Freeman and Company.
- Barker, R.W., 1960, *Taxonomic Note*, Society of Economic Paleontologist and Mineralogist. The Collegiate Press George Santa Company, INC, Mekasha, Wisconsin, U.S.A. 26-232
- Bemmelen, R.W.v., 1949. *The Geology of Indonesia. Vol. IA. General Geology of Indonesia and Adjacent Archipelagoes*. Netherlands: Government Printing Office, The Hague.
- Blow, W.H., 1969, *Late Middle Eocene to Recent Planctonic Foraminifera Biostratigraphy*, Proc. First Int. Conf. Planctonic Micro Fossils, E.J. Brill-Leiden.

- Boggs, S., 2006, *Principles of Sedimentary and Stratigraphy, 4th edition*, Pearson Prentice Hall, USA
- Darman, H. & Sidi, H. (eds.), 2000, *An Outline of the Geology of Indonesia*, Indonesian Geologists Association publication.
- Dunham, R. J., 1962. *Classification of Carbonate Rock According to Depositional Texture*, In Han, W. E. (ed) 1962, *Classification of Carbonate Rock, AAPG, Bull. Men 1*, h. 108 – 121.
- Fluety, M. J., 1964. *The Description of Folds*. Geological Association proceedings 75, 461– 492.
- Flügel, E., 2004, *Microfacies of Carbonate Rocks*, Springer-Verlag, Berlin
- Folk, R. L., 1974, *Petrology of Sedimentary Rocks*, The University of Texas
- Galloway, W.E., Hobday, D.K., 1996, *Terrigenous Clastic Depositional Environment System*. Springer-Verlag. Berlin-Heidelberg.
- Hadiwijoyo-Purbo, M.M., 2013, *Kamus Geologi & Ranah Rinangkun*, Badan Geologi, Bandung
- Hamilton, W. ,1979. *Tectonics of the Indonesian Region. USGS Professional Paper*, 1078, 345 p.
- Howard, A.D., 1967, *Drainage Analysis in Geologic Interpretation*, A.A.P.G. Bull., Vol.51., No. 11., California.
- Mangano, G.M., Buatois, A.L., 2011. *Ichnology ; Organism-Substrate Interactions in Space & Time*. Cambridge University. UK.
- Martodjojo, S., Djuhaeni, 1996, *Sandi Stratigrafi Indonesia*, Komisi Sandi Stratigrafi Indonesia, IAGI, Jakarta.
- Miall, A.D., 2000, *Principles of Sedimentary Basin Analysis, 3rd edition*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Miall, A.D., 2006, *The Geology of Fluvial Deposits Sedimentary Facies, Basin Analysis, and Petroleum Geology 4th corrected printing*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Middleton, G.V., 2003, *Encyclopedia of Sediments & Sedimentary Rocks*, Springer Science & Business, USA.
- Musliki, S., 1990, *The Pliocene Selorejo Formation and Its Hydrocarbon Prospect in Cepu and Surrounding Areas*, The 19th Annual Convention of The Indonesian Association Geologist
- Nichols, G., 2009, *Sedimentology and Stratigraphy, 2nd Edition*. Wiley-Blackwell., John Wiley & Sons, Ltd., Publication, The Atrium, Southern Gate, Chichester, West Sussex U.K.
- Parkinson, C.D., Miyazaki, K., Wakita, K., Barber, A.J., dan Carswell, D.A. (1998) : *An overview and tectonic synthesis of the pre-Tertiary very-high-pressure metamorphic and associated rocks of Java, Sulawesi and Kalimantan, Indonesia. The Island Arc*, 7, 000-000, 184-200.
- Prasetyadi, C., 2007, *Evolusi Tektonik Jawa Bagian Timur*, Disertasi C. Prasetyadi, ITB, Bandung
- Pringgoprawiro, H., Sukido., 1992. *Peta Geologi Lembar Bojonegoro, Jawa, skala 1:100.000*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.
- Pringgoprawiro, H., 1983, *Biostratigrafi dan Paleogeografi Cekungan Jawa Timur Utara*, suatu pendekatan baru. Disertasi Doktor, ITB, Bandung
- Reineck H. E. and Singh I.B., 1980, *Depositional Sedimentary Environment*, Springer-Verlag, Heidelberg.
- Rickard, M., 1972, *Fault Classification-Discussion*, Geol.Soc.Am.Bull.83, 2545-2546
- Selley, R.C., 1970, *Ancient Sedimentary Environment and their sub-surface diagnosis*, Cornell University Press, Ithaca, New York.
- Situmorang, B., 1976, *Wrench Fault Tectonics and Aspects of Hydrocarbon Accumulation in Java*, Proc. Ind. Petrol. Ass., 5th Ann. Conv , hal 53-67.
- Situmorang, L.R, Smit, R., Vesseem J.E.v., 1992, *Peta Geologi Lembar Jatirogo, Jawa, skala 1:100.000*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.
- Smyth, H., Hall, R., Hamilton, J., and Kinny, P., 2005, East Java: Cenozoic basins, volcanoes, and ancient basement, *Proceedings 30th Indonesian Petroleum Association Annual Convention and Exhibition, Jakarta*. p. 251-266
- Sribudiyani, et al, 2003, *The Collision Of The East Java Microplate And Its Implication For Hydrocarbon Occurrences In The East Java Basin*, Proceedings Indonesian Petroleum Association
- Thornbury, W.D., 1969, *Principles of Geomorphology*, John Wiley & Sons, Inc., USA
- Tucker, M.E., 2003, *Sedimentary Rocks in the Field*, Department of Geological Sciences University of Durham, UK.
- Tucker, M.E., Wright, P.V., 2002, *Carbonate Sedimentology*, Blackwell Publishing, UK.
- Van Zuidam, R.A., 1979, *Terrain Analysis and Classification Using Aerial Photographs, a Geomorphological Approach*, ITC Textbook of Photo-interpretation, Vol 7, ITC Enschede, The Netherlands, 30 pp.
- Van Zuidam, R.A., 1983, *Aerial Photo Interpretation in Terrain Analysis and Geomorphologic Mapping*, The Hague: Smits
- Verstappen, H. Th., 1985. *Applied Geomorphological Survey and Natural Hazard Zoning*. Enschede: ITC.
- Walker, R.G., Posamentier, H.W., 2006, *Facies Models Revisited, Society for Sedimentary Geology Special Publication 84*, USA.
- Walker, R.G., James, N.P., 1992, *Facies Models Response to Sea Level Change*, Geological Association of Canada.
- Williams, H., Turner, F. J., and Gilbert, C.M., 1954, *Petrography an introduction to study of rocks in thin section*, W.H. Freeman and Company Inc., San Francisco.
- Wilson, J.L., 1975, *Carbonate Facies in Geologic History*, Springer-Verlag, Heidelberg.
- Woods, K.W., 2009, *Physical Geology Laboratory Manual, 4th edition*, Kendall/Hunt Publishing Company, USA. p.93