

Sejarah Geologi dan Stratigrafi Batugamping Miosen Daerah Pakisrejo dan Sekitarnya, Kabupaten Tulungagung, Jawa Timur

Sugeng Widada^{1*)}, Muhammad A. N. Ansony¹⁾ Mochammad Prahastomi¹⁾ dan Aga Rizky¹⁾

¹⁾ Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Yogyakarta, Jl. Ringroad Utara No. 104, Ngropoh, Condongcatur, Kec. Depok, Kabupaten Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta, Indonesia

*Email: sugengwidada@upnyk.ac.id

Abstrak – Secara geografis daerah penelitian terletak di Daerah Pakisrejo, Kabupaten Tulungagung, Provinsi Jawa Timur dan secara fisiografi merupakan bagian dari Zona Pegunungan Selatan Jawa Timur. Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui stratigrafi, menyusun sejarah geologi dan menginterpretasi fenomena-fenomena geologi yang memungkinkan berkembangnya batuan karbonat di daerah telitian pada Kala Oligo - Miosen. Analisis lapangan meliputi pembuatan profil singkapan, pengukuran penampang stratigrafi terukur pada suatu lintasan singkapan yang representatif serta pengambilan sampel yang representatif sebagai persiapan analisis laboratorium. Analisis laboratorium yang dilakukan terdiri dari analisis petrografi dan analisis paleontologi. Sejarah geologi daerah penelitian dimulai pada Kala Oligosen hingga Miosen Awal merupakan periode magmatisme aktif di daerah yang menghasilkan satuan breksi-vulkanik Mandalika dan satuan intrusi andesit. Aktivitas vulkanisme berhenti pada Oligosen Akhir-Miosen Awal dan terjadi erosi. Fase selanjutnya terjadi genang laut yang mengendapkan satuan kalkarenit Campurdarat, satuan batugamping-terumbu Campurdarat dan satuan kalsirudit Campurdarat. Proses pengangkatan pada akhir Miosen Tengah menyebabkan terhentinya pengendapan batugamping di daerah telitian dan pada akhirnya mengangkat seluruh daerah telitian menjadi suatu daratan. Fase terakhir sejarah geologi daerah ini adalah proses denudasional yang membentuk satuan endapan aluvial dan prosesnya masih berlangsung hingga saat ini. Iklim, paleotopografi dan proses transgresi merupakan faktor-faktor yang mendukung perkembangan Karbonat Miosen di daerah telitian.

Kata Kunci: Batugamping, Fasies, Formasi Campurdarat, Jawa Timur. Stratigrafi,

Abstract – The study area is geographically located in Pakisrejo, Tulungagung Regency, East Java Province, and physiographically in the Southern Mountain Zone of East Java. This research aims to investigate the stratigraphic framework, reconstruct the geological evolution, and interpret geological processes that facilitated the development of carbonate rock formations within the study area during the Oligocene to Miocene epochs. The field investigation involved the construction of detailed outcrop profiles, measurement of stratigraphic sections along representative traverses, and the systematic collection of rock samples for laboratory analysis. Subsequent laboratory investigations comprised petrographic analysis, aimed at determining mineralogical and textural characteristics, and paleontological analysis to identify fossil content and interpret paleoenvironmental conditions. The geological evolution of the area commenced during the Oligocene to Early Miocene, a period marked by significant magmatic activity that led to the emplacement of the Mandalika Volcanic Breccia Unit and the Andesite Intrusion Unit. Volcanic activity ceased during the Late Oligocene to Early Miocene, initiating a phase of erosion. This was followed by a marine transgression that facilitated the deposition of the Campurdarat Calcarenite Unit, the Campurdarat Reef Limestone Unit, and the Campurdarat Calcirudite Unit, indicating a transition to a shallow marine carbonate platform environment. A major tectonic uplift during the Late Middle Miocene terminated carbonate sedimentation and resulted in the emergence of the study area as subaerial land. The final phase of the geological history is characterized by denudational processes, which led to the development of the Alluvial Deposit Unit—a dynamic process that continues to shape the landscape to this day. The evolution and proliferation of Miocene carbonates in the study area were predominantly influenced by climatic conditions, paleotopography, and marine transgression dynamics, which collectively created favorable conditions for carbonate sedimentation and reef development.

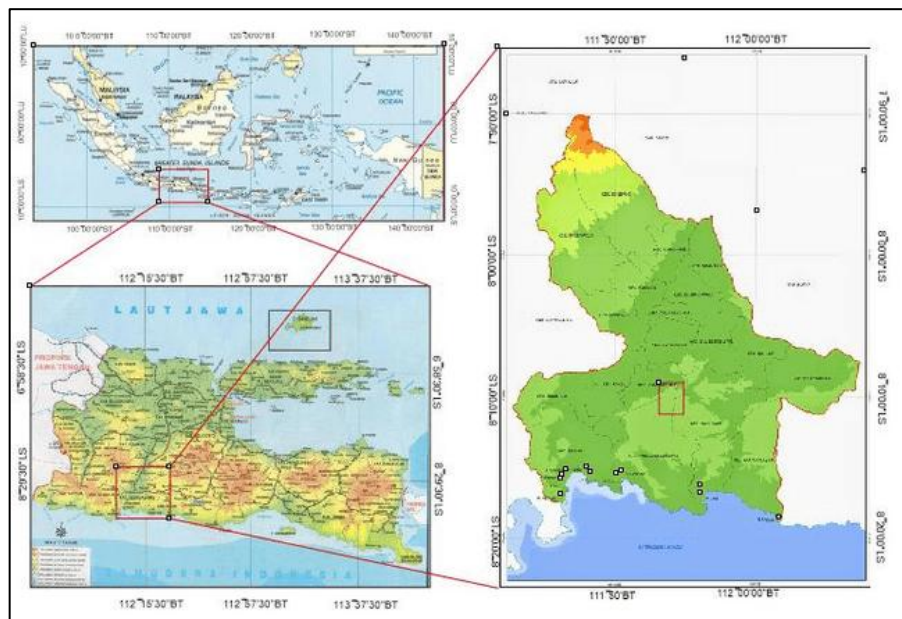
Keywords: Limestone, Facies, Campurdarat Formation, East Java, Stratigraphy.

PENDAHULUAN

Daerah telitian terletak di Daerah Pakisrejo, Kabupaten Tulungagung, Kabupaten Jawa Timur (Gambar 1). Batugamping Formasi Campurdarat di daerah ini tersingkap secara luas dan memanjang dengan arah barat-timur sekitar 55 km, dengan lebar singkapan hingga 12-15 km (Pratipsih dan Siregar, 2008) yang menumpang di atas batuan vulkanik Formasi Mandalika. Aktivitas vulkanik yang menghasilkan Formasi Mandalika dan keberadaan batugamping penyusun Formasi Campurdarat merupakan suatu hal yang menarik untuk diteliti. Hal itu disebabkan karena peristiwa vulkanisme dan

pertumbuhan karbonat terjadi pada kondisi geologi yang sangat berbeda. Aktivitas vulkanisme akan memproduksi material-material vulkanik yang akan menyebabkan kondisi-kondisi yang akan menghambat bahkan menghentikan pertumbuhan karbonat. Dengan mengetahui bagaimana susunan stratigrafi daerah telitian maka sejarah geologinya dapat direkonstruksi. Demikian juga bagaimana perkembangan batuan karbonat pada suatu daerah vulkanik dapat dijelaskan.

Secara fisiografis daerah telitian terletak di Zona Pegunungan Selatan Jawa Timur (van Bemmelen, 1959). Batugamping yang terdapat pada Cekungan Jawa Timur Utara (Zona Rembang) termasuk Formasi Kujung yang berumur Miosen Awal, sudah terbukti sebagai batuan reservoir migas yang produktif. Batugamping Campurdarat yang terdapat pada daerah Tulungagung ditambang sebagai bahan galian marmer untuk keperluan bahan bangunan dan ornamentasi. Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui urutan stratigrafi, menyusun sejarah geologi dan menginterpretasi fenomena-fenomena geologi yang memungkinkan berkembangnya batuan karbonat di daerah telitian pada Kala Oligo - Miosen.



Gambar 1. Lokasi daerah penelitian

METODE

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah analisis lapangan dan laboratorium. Analisis lapangan dilakukan untuk pengamatan singkapan secara detail, pengukuran kedudukan bidang perlapisan, pembuatan profil singkapan, pengukuran penampang stratigrafi terukur pada suatu lintasan singkapan yang representatif serta pengambilan sampel yang representatif sebagai persiapan analisis laboratorium. Pengamatan singkapan meliputi deskripsi warna batuan, tekstur, komposisi mineralogi, struktur sedimen dan ketebalan tiap lapisan. Pengamatan singkapan dilakukan guna mengidentifikasi litologi penyusun formasi-formasi yang tersingkap serta menjelaskan bagaimana proses sedimentasinya. Pengukuran kedudukan bidang perlapisan bertujuan untuk mengetahui posisi dan hubungan stratigrafi antar formasi. Pembuatan profil singkapan dan penampang stratigrafi dilakukan untuk mengetahui variasi litologi penyusun masing-masing formasi, mengetahui ketebalan tiap formasi, menentukan hubungan stratigrafis antar formasi serta menentukan proses sedimentasi dan lingkungan pengendapannya.

Analisis laboratorium yang dilakukan terdiri dari analisis petrografi dan analisis paleontologi. Analisis petrografi bertujuan untuk menentukan tekstur, komposisi mineralogi, dan nama batumannya. Penamaan litologi secara mikroskopis di laboratorium untuk batugamping menggunakan Klasifikasi Embry Klován (1971). Penamaan batuan beku berdasarkan Klasifikasi William (1954). Analisis paleontologi untuk penentuan umur dan paleobatimetri dari tiap-tiap formasi. Penentuan umur formasi didasarkan pada Zonasi Blow (1969), sedangkan penentuan zona paleobatimetrinya didasarkan pada Klasifikasi Baker (1970).

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Stratigrafi Daerah Penelitian

Pengamatan Berdasarkan satuan litostratigrafi tidak resmi, stratigrafi daerah penelitian dari tua ke muda tersusun oleh:

1. Satuan breksi-vulkanik Mandalika
2. Satuan intrusi-andesit
3. Satuan kalkarenit Campurdarat
4. Satuan batugamping-terumbu Campurdarat
5. Satuan kalsirudit Campurdarat
6. Satuan endapan-aluvial

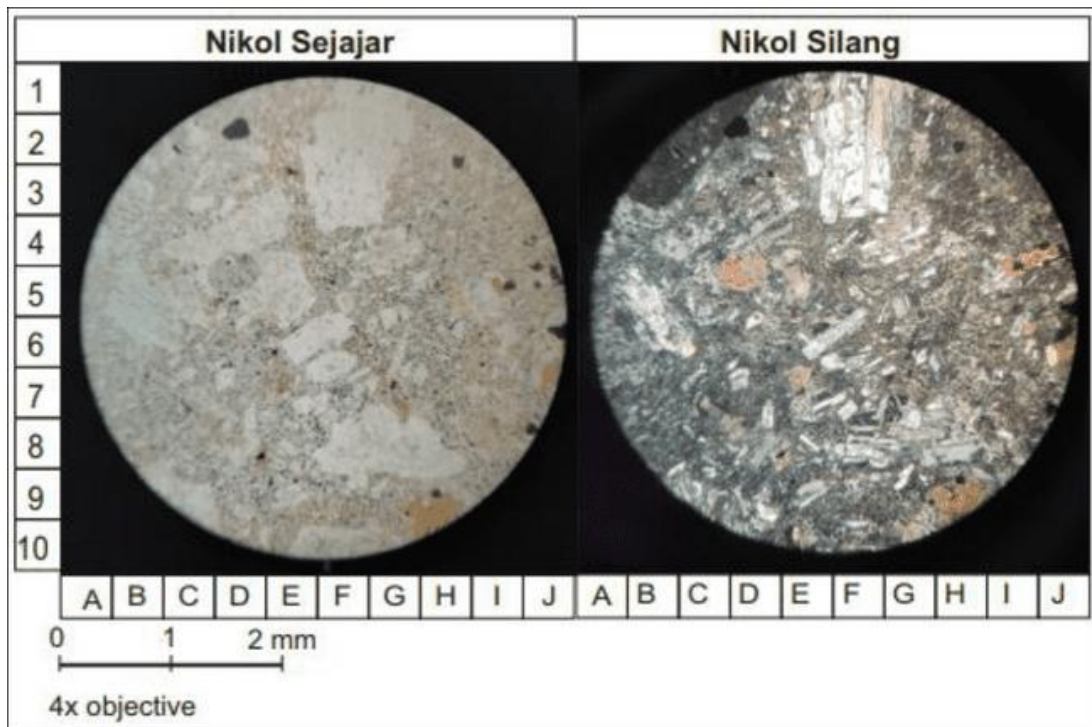
UMUR GEOLOGI		LITOSTRATIGRAFI	SATUAN BATUAN	LITODEMIK	SATUAN LITODEM
ZAMAN	KALA				
KUATERNER	HOLOSEN		Satuan endapan aluvial		
	PLEISTOSEN				
	PLIOSEN				
TERSIER	MIOSEN	AKHIR	Satuan kalsirudit Campurdarat		
			Satuan batugamping-terumbu Campurdarat		
			Satuan kalkarenit Campurdarat		
	AWAL				
	OLIGOSEN	AKHIR	Satuan breksi-vulkanik Mandalika*		Satuan intrusi-andesit*

*Umur mengacu pada Samodra, dkk. (1992)

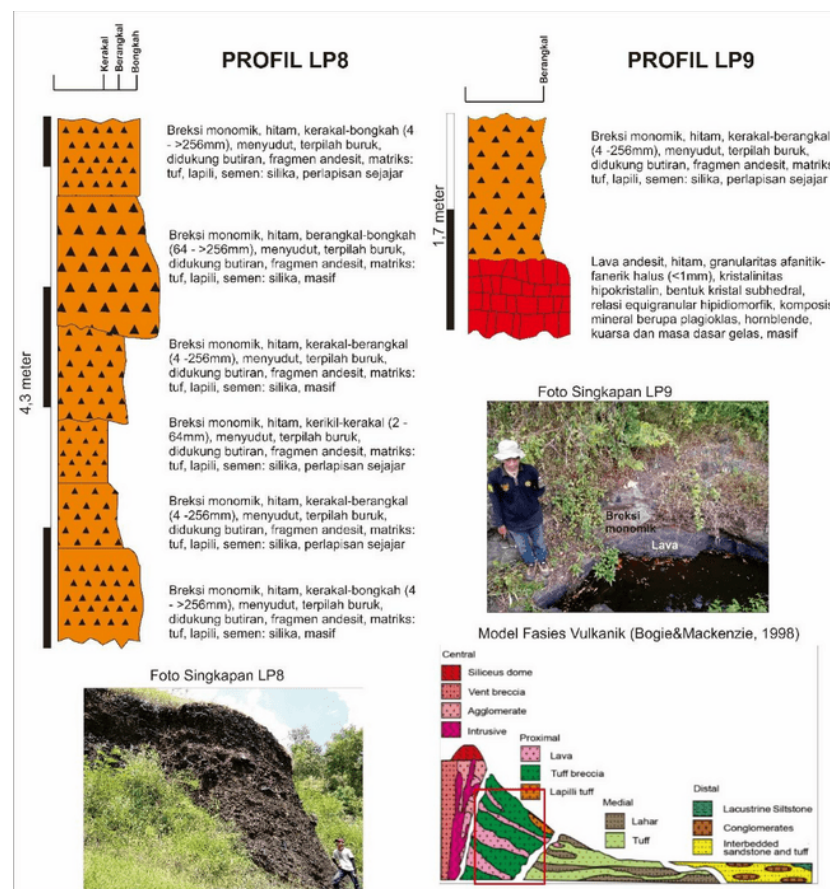
Gambar 2. Kolom stratigrafi daerah penelitian

Satuan breksi-vulkanik Mandalika

Satuan ini tersusun oleh breksi andesit, breksi polimik dengan sisipan lava. Berdasarkan hasil analisis lapangan, breksi andesit menunjukkan warna segar abu-abu, warna lapuk coklat kemerahan, ukuran butir kerikil - bongkah, menyudut - menyudut tanggung, terpilah buruk, terdukung buutiran, tersusun oleh fragmen andesit, tertanam dalam matriks pasir kasar dan tersemen oleh silika. Litologi penyusun satuan ini berubah ke arah tenggara menjadi breksi polimik dengan ciri warna segar abu-abu, warna lapuk krem, ukuran butir kerikil - bongkah, bentuk butir menyudut - menyudut tanggung, terpilah buruk, butiran didukung matriks, tersusun oleh fragmen andesit dan lapilli tertanam dalam matriks tuff dan tersemen oleh silika. Berdasarkan hasil analisis sayatan tipis yang diambil pada salah satu fragmen breksi, didapatkan mineral penyusun utama berupa plagioklas dan hornblende (Gambar 3). Berdasarkan rekonstruksi penampang geologi ketebalan satuan breksi Mandalika ini diperkirakan lebih dari pada 720 meter. Breksi polimik penyusun satuan ini ditafsirkan terendapkan oleh proses aliran piroklastika, sedangkan breksi andesit diinterpretasikan merupakan produk aliran lahar. Berdasarkan asosiasi fasies penyusun menurut Bogie & Mackenzie (1998), tersusun atas breksi polimik, breksi andesit, dan lava. Satuan breksi Mandalika di daerah penelitian merupakan produk fasies proksimal - medial dari suatu sistem vulkanik daratan (Gambar 4).



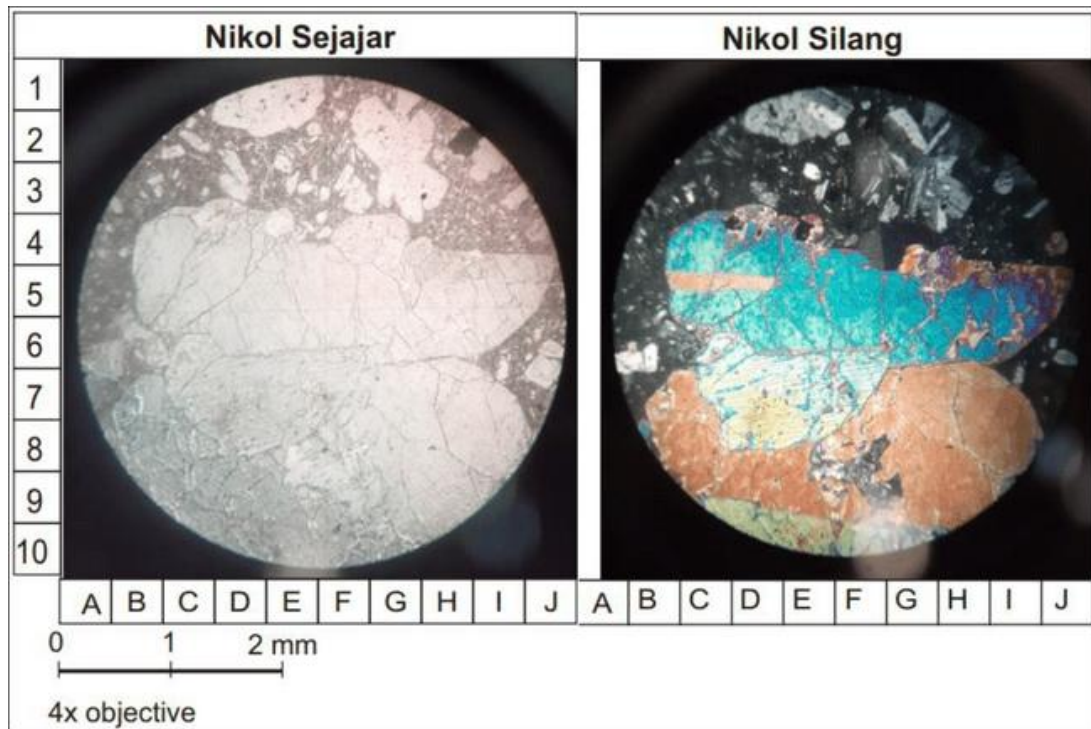
Gambar 3. Sayatan tipis yang diambil pada fragmen satuan breksi Mandalika (G3 = Plagioklas; D5 = Hornblende)



Gambar 4. Profil singkapan satuan breksi Mandalika yang menunjukkan karakteristik fasies proksimal gunung api

Satuan Intrusi Andesit

Satuan ini tersusun oleh andesit yang menunjukkan warna segar abu-abu gelap, warna lapuk coklat muda, granularitas fanerik halus-fanerik sedang (<1-5 mm), hipokristalin, bentuk kristal *euhedral*, relasi *equigranular panidiomorphic*, memiliki struktur *xenolith* berupa batulapili, kristalinitas tersusun oleh mineral plagioklas, hornblende, piroksen, kuarsa, mineral opak, dan masa dasar (Gambar 5). Satuan ini menyebar di bagian timur laut daerah telitian dan menempati sekitar 10% daerah telitian.



Gambar 5. Sayatan tipis intrusi andesit (G8 = Piroksen; E5 = Hornblende; H2 = Plagioklas)

Satuan kalkarenit Campurdarat

Satuan ini terutama tersusun oleh kalkarenit dengan sedikit perselingan kalsilutit, kalsirudit, dengan sisipan batugamping terumbu. Di lapangan, kalkarenit menunjukkan warna segar kuning kecoklatan, warna lapuk abu-abu, ukuran butir arenit, terpilah buruk, butir pecah dan utuh, sebagian didukung lumpur dan sebagian didukung butiran, dengan allochem berupa foraminifera plankton, foraminifera bentos kecil, gastropoda, tertanam dalam mikrit dan tersemen oleh sparit, struktur masif dan perlapisan sejajar (Gambar 6). Berdasarkan pengamatan mikroskopis dengan menggunakan Klasifikasi Embry dan Klovan (1971), kalkarenit ini dinamakan *wackstone* karena tersusun atas sedikit alga dan foraminifera bentos, serta dominasi lumpur karbonat (Gambar 7).

Kalsilutit (*mudstone*), menunjukkan warna segar putih kekuningan, warna lapuk kuning kecoklatan, ukuran butir butir lutite (<0,0625-2 mm), tersusun oleh lumpur karbonat, struktur perlapisan sejajar (Gambar 6). Berdasarkan pengamatan mikroskopis dengan menggunakan Klasifikasi Embry dan Klovan (1971), kalsilutit ini dinamakan *mudstone* karena tersusun atas dominasi lumpur karbonat (Gambar 8). Kalsirudit (*floatstone*) menunjukkan warna segar krem, warna lapuk abu-abu, arenite-rudite (0,064->2 mm), terpilah buruk, butir utuh, didukung lumpur, dengan allochem berupa alga, foraminifera plankton, foraminifera bentos kecil, bivalve, gastropoda, mikrit berupa lumpur karbonat dan semen berupa kalsit, struktur masif dan perlapisan sejajar (Gambar 9). Sisipan tipis batugamping terumbu (*framestone*) secara lokal. Di lapangan batugamping terumbu menunjukkan warna segar putih kekuningan, warna lapuk abu-abu, tersusun oleh *massive head coral*, alga, gastropoda, bivalve dan menunjukkan struktur masif. Berdasarkan pengamatan mikroskopis dengan menggunakan Klasifikasi Embry dan Klovan (1971), kalsirudit ini dinamakan *floatstone* karena tersusun atas koral, gastropoda, bivalvia, foraminifera miliolid, foraminifera bentos, dan lumpur karbonat (Gambar 10)

Satuan ini menempati sekitar 40% daerah telitian yang tersebar memanjang barat-timur di bagian tengah daerah telitian dan bagian tenggara daerah telitian. Secara setempat litologi ini juga ditemukan di bagian barat daya daerah telitian.

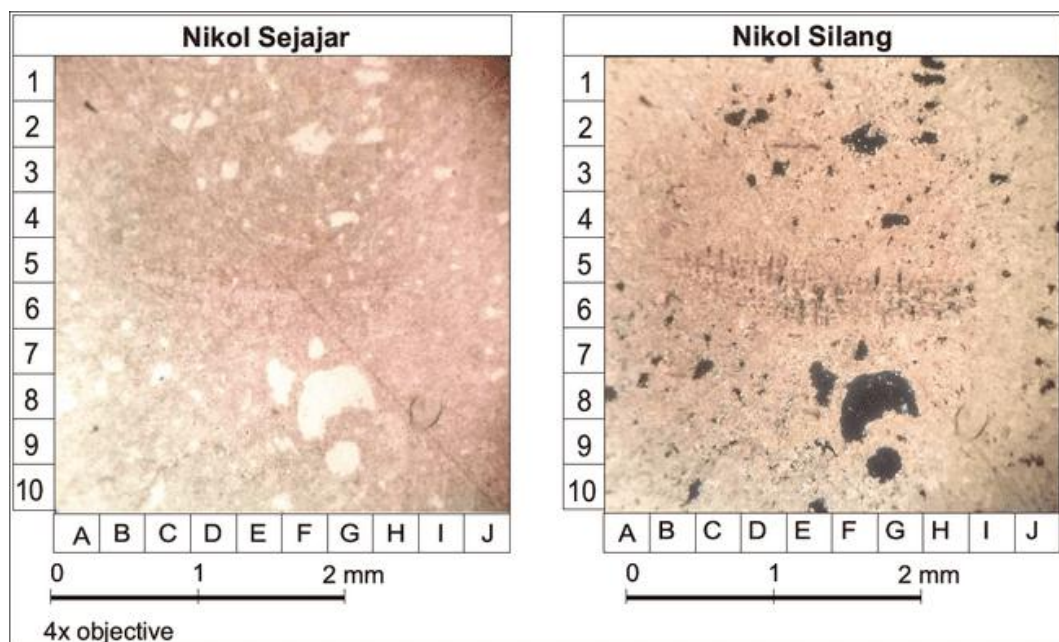
Kedudukan satuan ini relatif ke arah barat. Berdasarkan penampang geologi sayatan C-C', satuan ini memiliki ketebalan 287 meter di bagian timur daerah telitian, sedangkan berdasarkan penampang geologi sayatan B-B', satuan ini memiliki ketebalan 55 meter di bagian utara.

Berdasarkan analisis profil, satuan ini terbentuk pada paparan karbonat bagian *platform interior- restricted marine*, *platform interioropen marine* dan *patch reef*, yang terletak di bagian *back-reef lagoon*. *Platform interior-restricted marine* dicirikan dengan asosiasi *mudstone-wackestone-packstone*, *platform interior of open marine* dicirikan dengan hadirnya alga pada asosiasi *wackestone-floatstone*, sedangkan *patch reef* ditandai hadirnya litologi *bafflestone* secara setempat.

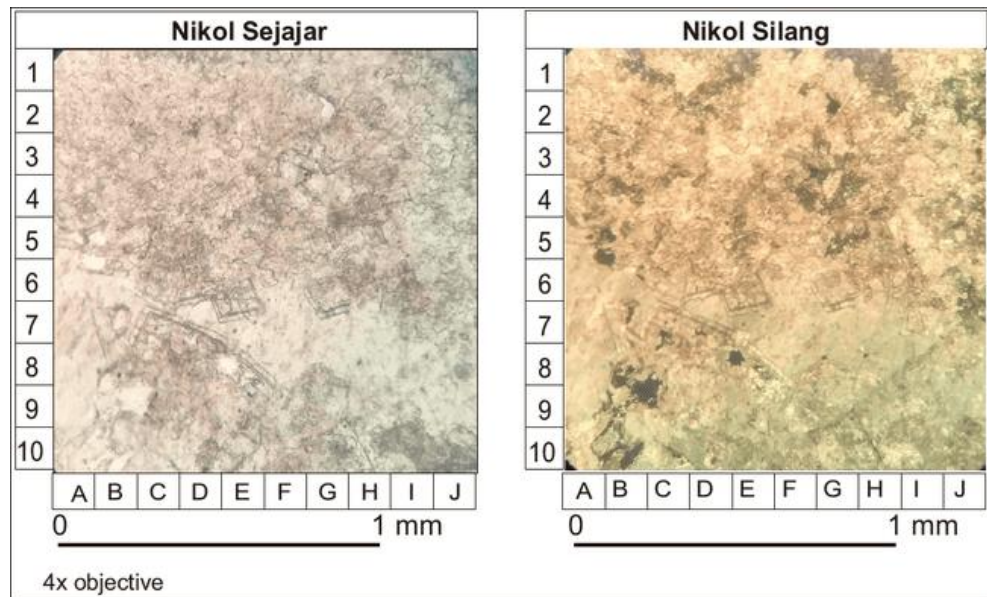
Berdasarkan analisis mikropaleontologi, didapatkan hasil lingkungan kedalaman berupa neritik tepi-neritik tengah (10-100 meter) dari fosil foraminifera bentonik berupa *Pyrgo depressa*, *Planodiscorbis rarescens*, *Quinqueloculina bicornis*, *Pyrgo denticula*, *Quinqueloculina seminulun*, dan *Peneroplis seminatus*. Berdasarkan analisa mikropaleontologi pada foraminifera plankton didapatkan hasil umur satuan batuan berupa Miosen Tengah (N13) dengan fosil berupa *Groborotalia menardii*, *Sphaerodina subdehiscens*, *Groborotalia praemenardii*, *Groborotalia fohsi*, dan *Orbulina suturalis* (Tabel 1).



Gambar 6. Perselingan antara kalkarenit (atas) kalsilutit (bawah) (Lensa berarah barat daya)



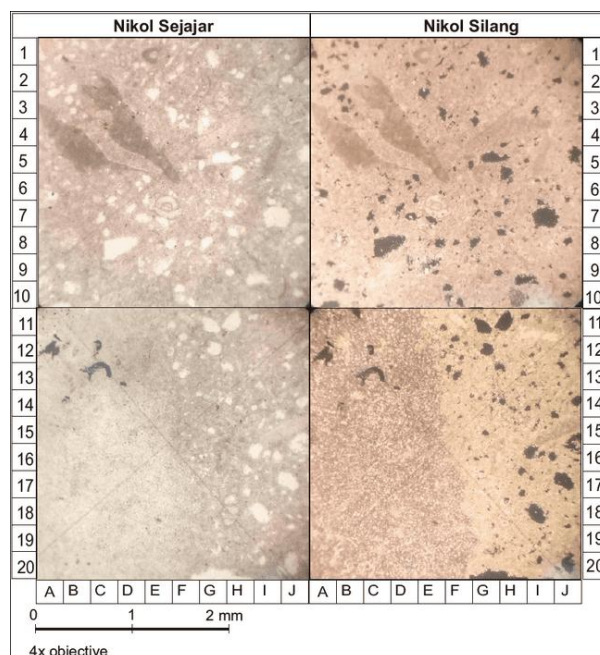
Gambar 7. Sayatan tipis *wackestone* (F6 = Alga; I8 = Foraminifera Benton; Warna krim = Lumpur karbonat)



Gambar 8. Sayatan tipis *Mudstone* (Warna krem = Lumpur karbonat)



Gambar 9. Kalsirudit dengan *allochem* gastropoda, alga dan bivalvia pada pada LP53 (Lensa berarah selatan)



Gambar 10. Sayatan tipis *floatstone* (D4 = Gastropoda; J5 = Bivalvia; E7 = Foraminifera miliolid; J3 = Foraminifera Bentos; Warna krem = Lumpur karbonat)

[illegible]

Satuan Batugamping-Terumbu Campurdarat

Satuan ini tersusun oleh batugamping teumbu yang terbentuk secara non-klasik yang berupa litologi *framestone* dengan bentuk terumbu masif, *bafflestone* dengan bentuk terumbu bercabang, dan *bindstone* dengan bentuk terumbu *encrusting*. *Framestone* menunjukkan warna segar putih keabu-abuan, warna lapuk coklat, tersusun oleh *massive head coral* dengan matriks berupa *floatstone* dan *wackestone* dengan komposisi alga, gastropoda, foraminifera bentos, foraminifera plankton, bivalvia yang mengambang dalam mikrit. (Gambar 11). *Bindstone* berwarna segar putih kekuningan, warna lapuk abu-abu kekuningan, tersusun oleh *platy coral* dengan matriks berupa *mudstone* dengan komposisi mikrit dengan sedikit kandungan foraminifera bentos kecil dan bivalvia (Gambar 12). *Bafflestone* menunjukkan warna segar putih keabu-abuan, warna lapuk coklat, tersusun oleh *branching coral* dengan matriks berupa *wackestone* dengan komposisi pecahan cangkang dan mikrit. (Gambar 13). Satuan ini menempati sekitar 30% pada daerah penelitian dan membentuk morfologi lereng yang miring ke arah selatan. Satuan ini tersebar di bagian tengah, bagian barat dan bagian selatan daerah telitian. Berdasarkan penampang B-B' yang searah dip, satuan ini memiliki ketebalan 280m. Satuan batugamping-terumbu Campurdarat diinterpretasikan terbentuk pada *platformmargin reef* yang ditandai dengan asosiasi fasies *organic boundstone* berupa *bindstone*, *framestone* dan *bafflestone*. Satuan ini memiliki hubungan yang selaras dengan Satuan kalkarenit Campurdarat dan Satuan kalsirudit Campurdarat yang keduanya memiliki umur Miosen Tengah (N13) sehingga diinterpretasikan satuan ini juga memiliki umur yang sama yaitu Miosen Tengah (N13).



Gambar 11. *Framestone* yang menunjukkan bentuk *massive head coral* (Lensa berarah barat)



Gambar 12.. *Bindstone* yang menunjukkan bentuk *platy coral* (Lensa berarah barat)



Gambar 13. Bafflestone yang menunjukkan bentuk *branching coral* (Lensa berarah utara)

Satuan Kalsirudit Campurdarat

Satuan ini terutama tersusun oleh kalsirudit dengan ciri khas hadirnya pecahan koral sebagai allochem, dengan sedikit perselingan kalkarenit yang mengandung material bioklastik rombakan. Kalsirudit (*floatstone*) menunjukkan warna segar krem, warna lapuk abuabu, arenite-rudite (0,064->2 mm), terpilah buruk, butir pecah, didukung lumpur, dengan allochem berupa pecahan koral dan material bioklastik lainnya berupa bivalvia, gastropoda, foraminifera miliolid dan foraminifera bentos, mengambang dalam matriks berupa lumpur karbonat, semen berupa sparit, porositas vuggy dan intrapartikel, struktur masif dan perlapisan sejajar (Gambar 14). Kalkarenit (*packstone*) menunjukkan warna putih kekuningan, ukuran arenite-rudite (0,065mm->2mm), terpilah baik, keadaan butir pecah dan utuh, didukung oleh butiran, tersusun oleh allochem alga dan material bioklastik lainnya berupa gastropoda, foraminifera miliolid foraminifera bentos, foraminifera plankton, bivalvia, matriks berupa lumpur karbonat, porositas vuggy dan fracture, struktur masif.

Satuan ini menempati sekitar 5% dari luas daerah telitian yang tersebar secara setempat pada bagian barat daya daerah telitian. Satuan ini membentuk morfologi berupa lereng homoklin. Kemiringan lapisan batuan penyusun satuan ini relatif ke arah barat. Berdasarkan penampang geologi sayatan B-B' yang memotong satuan ini searah strike, satuan ini memiliki tebal 56 meter. Satuan kalsirudit Campurdarat terendapkan pada *foreslope* dari suatu sistem terumbu (*fore reef*) yang ditandai dengan keterrdapatan asosiasi fasies berupa *floatstone* dengan kandungan pecahan koral dan *packstone* dengan meterial rombakan bioklastik. Berdasarkan analisis mikropaleontologi, satuan ini terbentuk pada zona batimetri neritik luar-batiai tepi (100-300 meter) berdasarkan fosil bentos *Pyrgo denticula*, *Quinqueloculina seminulun*, *Planodiscorbis rarescens* Berdasarkan analisis mikropaleontologi pada foraminifera plankton didapatkan hasil umur satuan batuan berupa Miosen Tengah (N13) dengan fosil berupa *Groborotalia siakensis*, *Globigerina prabulloides*, *Groborotalia fohsi*, *Sphaerodinella subdehischens*.



Gambar 14. Kalsirudit dengan komposisi berupa pecahan terumbu pada LP93 (Lensa berarah utara)

Diskusi

Daerah penelitian yang merupakan bagian dari Busur Pegunungan Selatan merupakan busur vulkanik yang aktif hingga Miosen Awal dengan aktivitas vulkanisme paling tinggi pada Oligosen Akhir hingga Miosen Awal (Smyth dkk., 2011). Diinterpretasikan pada Oligosen Akhir hingga Miosen Awal aktivitas vulkanisme yang tinggi, baik yang bersifat eruptif maupun efusif membentuk endapan breksi piroklastik aliran, lava dan breksi laharik yang menyusun satuan breksi-vulkanik Mandalika yang diendapkan pada bagian proximal - medial dari suatu lingkungan gunung berapi daratan. Aktivitas vulkanisme tersebut kemudian diikuti dengan terjadinya intrusi andesit yang menerobos satuan breksi-vulkanik Mandalika.

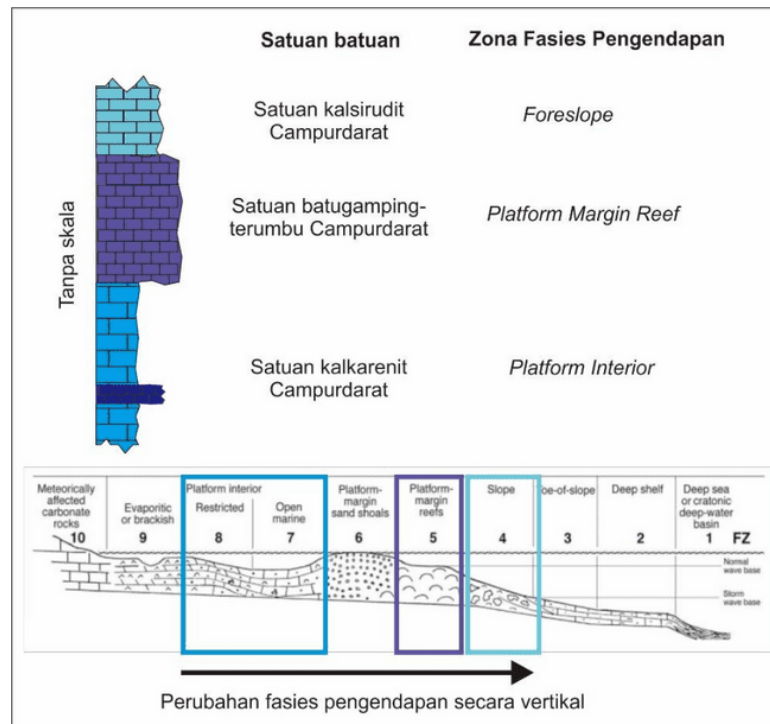
Pada kala Miosen Awal aktivitas vulkanik dari busur gunung api berhenti menyebabkan terjadinya proses denudasional terhadap gunung api serta satuan breksi-vulkanik Mandalika dan satuan intrusi-andesit. Periode ini terbentuk sesar mendatar kiri turun yang membentuk daerah tinggian dan rendahan. Kala Miosen Awal hingga Pliosen Awal merupakan periode tektonik tenang dan masa pendinginan kerak bumi. Peristiwa tersebut diikuti terjadinya transgresi menyebabkan daerah rendahan di bagian selatan lingkungan gunung api yang telah terdenudasi menjadi lingkungan laut dangkal sehingga membentuk suatu paparan (*rimmed shelf*), dimana pengendapan karbonat terjadi. Sementara itu bagian utara daerah telitian yang merupakan tinggian masih berupa suatu daratan.

Kapasitas organisme dalam mengendapkan cangkang karbonat untuk membentuk batuan karbonat sangat dipengaruhi oleh perubahan muka air laut, fungsi *subsidence* dan *eustasy* (Schlager, 1999) serta fungsi dari produksi karbonat yang mencerminkan suhu permukaan air, salinitas dan jumlah nutrisi (Schlager, 2005). Karena terjadinya transgresi maka jumlah pasokan sedimen daratan ke dalam cekungan kecil jumlahnya sehingga terbentuklah suatu paparan laut dangkal yang jernih, hangat yang menjadikan suatu ekosistem dimana pertumbuhan organisme bisa terjadi secara optimal karena proses fotosintesa berjalan dengan baik.

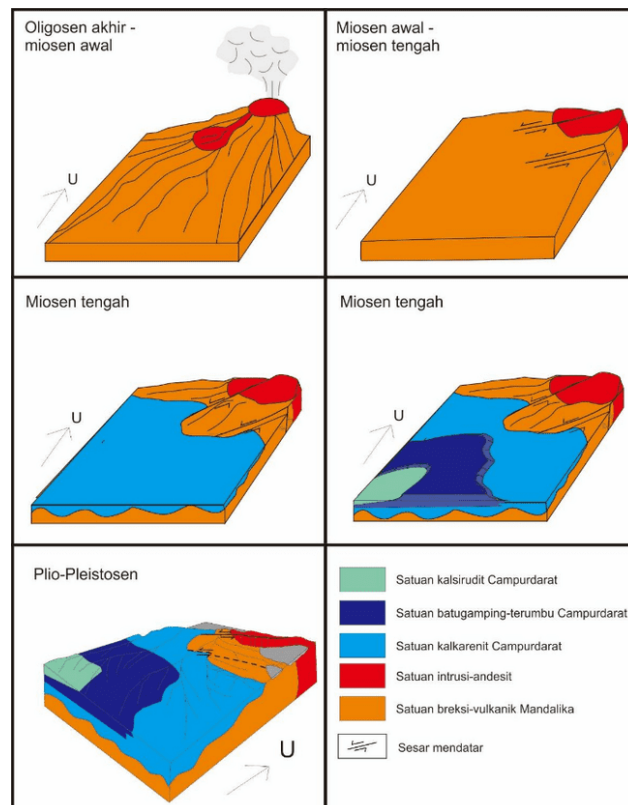
Lingkungan paparan laut dangkal yang jernih, hangat, salinitas yang tepat dan nutrisi yang melimpah menjadikan berbagai organisme seperti koral masif, koral bercabang koral pipih, alga merah dan organisme-organisme lain dapat tumbuh dan berkembang dengan baik sehingga membentuk suatu struktur rigid tahan gelombang pada bagian tepian paparan, (*platform margin reef*) sebagai *barrier reef*. Batuan yang terendapkan pada lingkungan ini berupa *framestone*, *bindstone* maupun *bafflestone* yang merupakan bagian inti terumbu yang menyusun satuan batugamping-terumbu Campurdarat. Keberadaan terumbu tersebut menyebabkan gelombang, badai dan arus pasang surut dari laut lepas terhalangi sehingga terbentuklah suatu lingkungan tertutup dengan sirkulasi yang kurang baik, tingkat energi rendah yang rendah pada bagian belakang terumbu, yaitu *back-reef lagoon (platform -interior)*. Lingkungan tersebut akan menghasilkan endapan sedimen yang sumbernya berasal dari material terumbu yang terabrasi oleh gelombang atau material detritus daratan sehingga terendapkanlah *packstone*, *wackstone*, *floatstone* dan *mudstone*. Sementara koral bercabang yang tumbuh secara lokal di lingkungan tersebut membentuk *bafflestone* yang merupakan bagian dari *patch reef*. Litologi-litologi tersebut merupakan penyusun satuan kalkarenit Campurdarat.

Bagian depan terumbu merupakan zona dengan tingkat energi tinggi berlereng curam karena aktivitas gelombang. Material penyusun terumbu pada lingkungan ini akan mengalami abrasi akibat aktivitas gelombang, badai, arus pasang surut atau longsor. Adanya arus turbid akan menghasilkan suatu endapan sedimen karbonat tubidit berupa kalsirudit di lereng atas, kalkarenit dan kalsilutit di lereng bawah. Lingkungan *fore-reef* pada daerah penelitian dicirikan dengan keberadaan *floatstone* dan *packstone* yang merupakan penyusun satuan kalsirudit Campurdarat.

Proses pengendapan batugamping Campurdarat berlangsung pada kondisi transgresif. Hal tersebut dibuktikan dari analisis profil yang menunjukkan suksesi pengendapan dengan urutan endapan *back-reef lagoon (platform interior)* di bagian paling bawah yang ditutupi endapan *core-reef (platform margin reef)* dan endapan *fore-reef (foreslope)* di bagian paling atas (Gambar 15). Adanya pengaruh kompresi yang kuat pada akhir Miosen Tengah menyebabkan terjadinya proses pengangkatan yang mengubah daerah rendahan menjadi daratan. Hal tersebut berdampak pada peningkatan pasokan sedimen klastik daratan ke cekungan karbonat di daerah penelitian yang menghambat dan mematikan kehidupan organisme pembentuk batuan karbonat. Proses pengendapan karbonat pada daerah penelitian akhirnya terhenti pada akhir Miosen Tengah. Akhir Miosen Tengah paparan karbonat terangkat dan tersingkap ke permukaan dan dimulailah periode denudasional pada daerah penelitian hingga saat ini (Gambar 16).



Gambar 15. Penampang stratigrafi tidak terukur yang menunjukkan perubahan lingkungan pengendapan secara vertikal semakin ke arah laut



Gambar 16. Model sejarah geologi daerah telitian

PENUTUP

Secara litostratigrafis dari tua ke muda tersusun daerah telitian oleh: satuan breksi-vulkanik Mandalika, satuan intrusi andesit, satuan kalkarenit Campurdarat, satuan batugamping-terumbu Campurdarat, satuan kalsirudit Campurdarat dan satuan endapan aluvial. Geologi sejarah daerah penelitian dimulai pada Kala Oligosen hingga Miosen Awal merupakan periode magmatisme aktif pada daerah yang menghasilkan satuan breksi-vulkanik Mandalika dan satuan intrusi andesit. Kala Oligosen Akhir - Miosen Awal aktivitas vulkanisme di daerah penelitian berhenti, menyebabkan adanya erosi terhadap gunung api serta satuan breksi-vulkanik Mandalika dan satuan intrusi-andesit. Terjadinya proses transgresi menyebabkan terbentuknya suatu endapan paparan laut dangkal yang jernih dan hangat pada kala Miosen Tengah di bagian selatan daerah penelitian, dimana satuan kalkarenit Campurdarat, satuan batugamping-terumbu Campurdarat dan satuan kalsirudit Campurdarat terendapkan. Proses pengangkatan pada akhir Miosen Tengah menyebabkan terhentinya pengendapan batugamping di daerah penelitian dan pada akhirnya mengangkat seluruh daerah penelitian menjadi suatu daratan. Fase terakhir sejarah geologi di daerah penelitian ditandai dengan terjadinya proses denudasional yang membentuk satuan endapan aluvial dan prosesnya masih berlangsung hingga saat ini. Iklim, paleotopografi dan proses transgresi merupakan faktor-faktor yang mendukung perkembangan karbonat Miosen di daerah penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- Blow, W.H. 1969. *The Cenozoic Globigerinida, A Study of The Morphology, Taxonomy Evolutionary Relationships and The Stratigraphical Distribution of Some Globigerinida*. Netherlands: E.J. Brill Ed, Leiden.
- Boggs, Sam. 2014. *Principles of Sedimentology and Stratigraphy: Fifth Edition*. Essex: Pearson Educated Limited
- Boggie, Ian dan Mackenzie, K. M. 1998. *The Application of A Volcanic Facies Model to An Andesitic Stratovolcano Hosted Geothermal System at Wayang Windu, Java, Indonesia*. Proceeding 20th NZ Geothermal Workshop.
- Flügel, Erick. 2004. *Microfacies of Carbonate Rocks*. Erlangen: Springer Berlin Heidelberg New York
- Nichols, G. 2009. *Sedimentology and Stratigraphy*. West Sussex: WileyBlackwell
- Samodra, H., Suharsono, Gafoer, S., dan Suwarti, T. 1992. *Peta Geologi Lembar Tulungagung, Jawa* (Skala 1:100.000). Pusat Penelitian Dan Pengembangan Geologi
- Schlager, W., 1999 *Scaling of sedimentation rates and drowning of reefs and carbonate platforms*, *Geology*, v 27, p. 183-186
- Schlager, W. 2005. *Carbonate Sedimentology and Sequence Stratigraphy*. Oklahoma: SEPM
- Siregar, M.S. dan Praptisih. 2008. *Fasies dan Lingkungan Pengendapan Formasi Campurdarat di Daerah Trenggalek-Tulungagung, Jawa Timur*. Jurnal Riset Geologi dan Pertambangan Vol. 18 No. 1 hal. 36-46 .
- Smyth, H., Hall, R., Hamilton, J. & Kinny, P., 2005. *East Java: Cenozoic Basins, Volcanoes and Ancient Basement.*, Indonesian Petroleum Association Thirtieth Annual Convention & Exhibition.
- Smyth, H. R., Crowley Q. G. Hall R. Kinny, P.D., Hamilton, P. Joseph, Schmid D. N. 2011. *A Toba-scale eruption in the Early Miocene: The Semilir eruption, East Java, Indonesia*. *Lithos* Vol. 126 (2011), hal. 198–211
- Van Bemmelen, R.W. 1949. *The Geology of Indonesia. Vol. 1A. General Geology of Indonesia and Adjacent Archipelagoes*. Netherlands: Government Printing Office, The Hague. Hal. 25 – 29, 604 – 607.
- Walker, Roger G., James, Noel P., 1992. *Facies Models Response To Sea Level Change*, Geological Association of Canada, Canada, Hal. 219 – 238.
- Williams, H., Turner, F.J., Gilbert, C.M. 1982. *Petrography. An Introduction to the Study of Rocks in Thin Sections*. Second Edition. W.H. San Fransisco: Freeman and Company. 626 hal.