



Evolusi Busur Magmatik Pulau Jawa Timur sejak Eosen sampai Kuartar, Berdasarkan Analisis *Provenance* Batupasir Formasi Sambipitu

Arif Rahutama

Politeknik Energi dan Mineral Akamigas
Jl. Gajah Mada No. 38, Cepu, Jawa Tengah, Indonesia 58135

Artikel Info:

Naskah Diterima:
3 Juni 2021
Diterima setelah
perbaikan:
6 Agustus 2021
Disetujui terbit:
30 Agustus 2021

Kata Kunci:

formasi sambipitu
provenance
recycled orogen
busur magmatik

ABSTRAK

Formasi Sambipitu merupakan batuan vulkaniklastik berumur Miosen Awal-Akhir yang terbentuk di Cekungan Wonosari pada lingkungan paparan sampai *slope* yang dibatasi kerucut vulkanik di sebelah Barat Laut dan tinggian Wonosari *Platform* di sebelah Tenggara. Pengamatan *sequen stratigraphy* dari *outcrop* menunjukkan proses *transgresi* di periode awal menuju *regresi* pada fase *highstand* dan selanjutnya periode *transgresi* kedua pada bagian akhir. Batupasir di daerah penelitian dapat dibagi menjadi 2, yaitu batupasir kasar dan batupasir halus, yang digunakan dalam analisis *provenance* untuk mempelajari dinamika sedimentasi dan tektonik daerah penelitian. Mekanisme sedimentasi didominasi oleh proses *saltasi* dan *suspensi*, dikarenakan kondisi lingkungan pengendapan pada paparan dengan morfologi yang curam akan menyebabkan pergerakan aliran massa yang menghasilkan arus turbid sehingga endapan yang terbentuk didominasi oleh arus traksi. Berdasarkan diagram QFL Dickinson (1985), batuan sumber Formasi Sambipitu berasal dari 2 (dua) mekanisme, yaitu dari *magmatic arc* dan *recycled orogen*. Setting tektonik *magmatic arc* dikarenakan *provenance* berasal dari aktifitas vulkanik bersifat asam-intermediet pada umur Oligo-Miosen di sebelah Barat Laut. Tiga sampel batuan pada *recycled orogen* berada pada fase pengendapan maksimum (*maksimum flooding*) dan kandungan mineral olivine yang hanya dijumpai 2 sampel diantara ketiganya menunjukkan adanya sumber batuan yang berasal dari vulkanik yang bersifat basa/ultrabasa, atau bisa diinterpretasikan bahwa terdapat tinggian lain (*paleo high*) di sebelah Utara (daerah Bayat-Klaten/sejenisnya) yang berkontribusi mensuplai material sedimen ke Cekungan Wonosari. Evolusi *magmatic arc* sejak Eosen, dapat dibagi menjadi 3 tahapan, yaitu: 1) Eosen *Island Arc*; 2) Oligo-Miosen *Volcanic Arc*; dan 3) Quarternary *Volcanic Arc*.

© LPMGB - 2021

PENDAHULUAN

Formasi Sambipitu, yang mewakili suksesi *fore arc basin* umur Miosen dengan ketebalan hingga 460 m, lokasi berada di Pegunungan Selatan, Gunung Kidul, Yogyakarta (Gambar 1). Formasi ini sebagian besar terdiri atas perselingan batupasir, batulanau, dan

batulempung, serta berasosiasi dengan konglomerat, endapan vulkanik dan vulkanoklastik (Rahardjo, dkk., 1995; Said, 1998) yang merupakan salah satu formasi batuan pengisi Cekungan Wonosari dan juga disebut sebagai Palung Wonosari (Lokier, 2000). Rekonstruksi lingkungan pengendapan menunjukkan bahwa proses sedimentasi formasi ini terjadi di lingkungan paparan sampai dengan *slope* dengan morfologi lereng yang curam (Rahutama, 2014) pada Miosen (19,8-10 Ma) (Kadar, 1986).

Korespondensi:

E-mail: arif.rahutama@esdm.go.id (Arif Rahutama)

Pemetaan detail tentang stratigraphy sequen oleh Rahutama (2014), diinterpretasikan bahwa pembentukan Formasi Sambipitu diawali pengendapan *transgresif* di bagian bawah dan *highstand* di bagian atas, yang selanjutnya digantikan oleh pengendapan *transgresif* kedua di bagian paling atas (Gambar 3).

Sejumlah penelitian telah membahas komposisi mineral batupasir Kenozoikum di Pulau Jawa, beberapa batupasir didominasi oleh kuarsa, berasal dari basement granit dan/atau metamorf atau reworked dari sedimen, selain itu didominasi oleh litik dan feldspar plagioklas yang berasal dari vulkanik andesit. Distribusi kedua jenis asal batupasir ini bervariasi menurut ruang dan waktu, dan sampai saat ini belum terdokumentasi secara sistematis untuk seluruh Jawa.

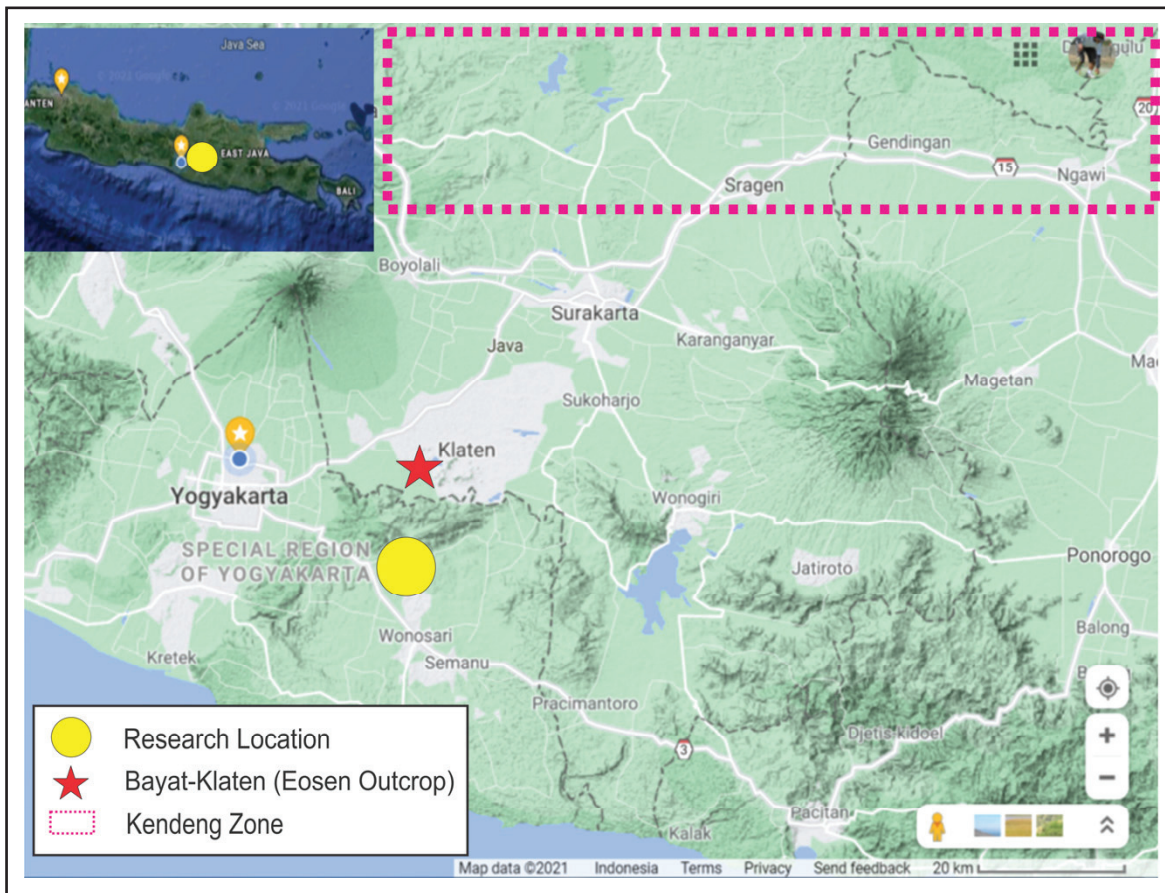
Pembentukan batupasir dipengaruhi oleh interaksi berbagai parameter seperti komposisi batuan asal (*source*), iklim, tatanan tektonik dan proses pengendapan. Batupasir mudah diidentifikasi hanya dengan bantuan alat yang sederhana seperti

mikroskop, sehingga studi provenan merupakan studi yang dengan mudah dapat dilakukan terhadap batupasir. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perkembangan kondisi tatanan tektonik berdasarkan analisis komposisi penyusun batupasir dengan menggunakan diagram segitiga QFL (Quartz-Feldspar-Lithics) dari klasifikasi Dickinson (1985).

BAHAN DAN METODE

Daerah penelitian terletak di daerah Gunungkidul, kurang lebih 30 km ke arah tenggara dari pusat kota Jogjakarta (Gambar. 1). Metode penelitian secara garis besar dilaksanakan melalui 3 tahapan, yaitu: Pengumpulan data di lapangan; analisis laboratorium, dan pembahasan dari hasil evaluasi data lapangan dan data analisis laboratorium.

Variasi temporal dalam fitur litofasies Formasi Sambipitu dianalisis berdasarkan pengambilan data di sungai Ngalang yang memiliki kemenerusan vertikal yang baik (Gambar 7). Sebanyak 17 sampel batupasir dikumpulkan dari singkapan untuk analisis



Gambar 1
Lokasi penelitian, Bayat-Klaten, dan Zona Kendeng. Inset map di kiri atas menunjukkan lokasi penelitian di Pulau Jawa, sumber peta menggunakan *Google Earth & Map* (2021).

granulometri, sample batuan diambil dengan interval kurang lebih 20-30 meter di sepanjang jalur sungai Ngalang (Gambar 3). Semua sampel batuan dilakukan analisis di Laboratorium Sedimentologi Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, yang selanjutnya dilakukan analisis kuantitatif komposisi batupasir menggunakan diagram segitiga QFL dari klasifikasi Dickinson (1985) yang akan didiskusikan pada sub-bab selanjutnya.

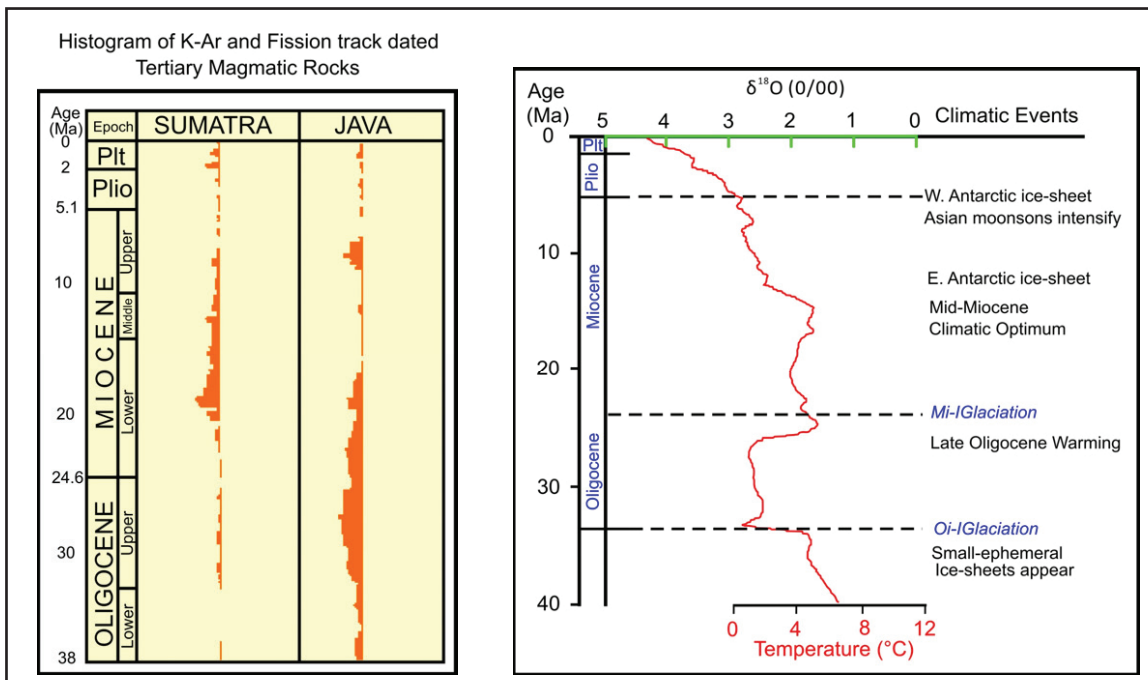
HASIL DAN DISKUSI

Kerangka lempeng tektonik (Hall, 1996), daerah penelitian diinterpretasikan sebagai bagian dari Cekungan Jawa bagian muka berumur Oligosen–Miosen, tetapi sinyal sedimentologi yang terkait dengan busur tektonik bagian bawah belum diketahui dengan baik, meskipun gerakan relatif lempeng Eurasia dan Indo-Australia telah direkonstruksi berdasarkan fitur tektonik dan sedimentologi regional dari suksesi stratigrafi yang terbentuk di Jawa Tengah (Asikin, 1974; Hall, 1996; Hamilton, 1979; Katili, 1975; Parkinson, dkk., 1998; Soeria-Atmadja, dkk., 1998; Sribudiyani, dkk., 2003; Wakita, 2000). Secara khusus, evaluasi rinci provenance batupasir Formasi Sambipitu akan dapat memberikan gambaran tentang evolusi Cekungan Wonosari, dalam hal

interaksi antara eustasi dan tektoniknya, dan dapat berkontribusi pada pemahaman yang lebih baik tentang evolusi sistem busur vulkanik Jawa.

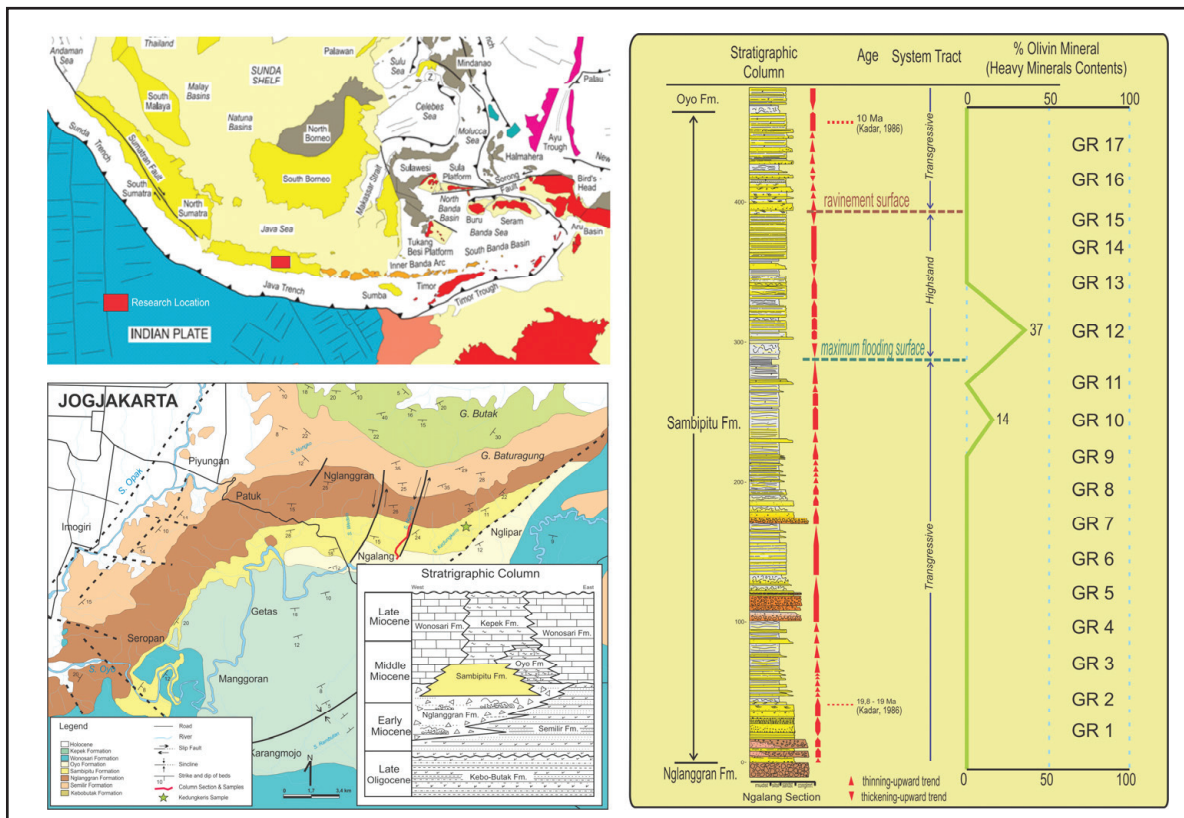
Variasi spasial dan temporal dalam asosiasi fasies dan perkembangan sequen stratigraphy di Palung Wonosari dikontrol oleh interaksi antara iklim global, perubahan permukaan laut eustatik dan aktifitas tektonik selama Miosen Awal hingga Akhir (Rahutama, 2014). Secara khusus, pada masa iklim maksimum di Miosen Tengah pada sekitar 16 Ma (Zachos, dkk., 2001) (Gambar 2) dan penurunan Cekungan Wonosari secara aktif memiliki peranan yang sangat penting tidak hanya untuk penciptaan ruang akomodasi pada pembentukan *highstand* dan *transgresif system tract* di Formasi Sambipitu bagian atas, tetapi juga perkembangan karbonat Formasi Wonosari di dalam dan sekitar Cekungan Wonosari selama Miosen Tengah hingga Akhir (Rahutama, 2014). Periode ini juga diwakili oleh penurunan aktivitas vulkanik di sistem busur volcanic Jawa pada sekitar Miosen Tengah (Soeria-Atmadja, dkk., 1998) (Gambar 2), yang mungkin telah mendorong peningkatan produksi batuan karbonat di Cekungan Wonosari pada akhir Miosen (Rahutama, 2014).

Secara regional Jawa Selatan di sepanjang Pegunungan Selatan, hampir semua batupasir di umur Miosen Awal dan setelahnya biasanya material vulkanik bersumber dari Oligosen Akhir – Miosen



Gambar 2

Variasi temporal aktivitas magmatik Kenozoikum di Sumatera dan Jawa, direkonstruksi oleh data frekuensi umur batuan vulkanik, Soeria Atmaja dkk. (1998)(Kiri). Perubahan iklim global selama Kenozoikum. Sedikit dimodifikasi dari Zachos dkk. (2001) (Kanan).



Gambar 3

Tektonik setting Pulau Jawa dan daerah sekitarnya (Hall, 1996) (kiri atas). Peta sketsa geologi daerah penelitian dan stratigrafi umur Miosen di daerah penelitian. Dimodifikasi dari Surono dkk. (1992) (Kiri Bawah). Kolom stratigraphy dan interpretasi *system tract* (Rahutama, 2014), lokasi pengambilan sampel batupasir dan kandungan mineral olivin berdasarkan analisis laboratorium (Kanan).

Awal busur vulkanik *Old Andesite* Pegunungan Selatan (Rutten, 1925). Komposisi batupasir dari wilayah Jawa Timur dan Jawa Tengah menurut Smyth, dkk., (2008) berumur Miosen Tengah memiliki pola yang sama seperti di Jawa Barat, tetapi berdasarkan komposisinya, beberapa sedimen Miosen Awal-Tengah di Pegunungan Selatan bagian Timur kaya mineral kuarsa, yang berasal dari kuarsa vulkanik (monokristalin, jernih, dan bipiramidal) yang bersumber batuan vulkanik bersifat asam.

Sementara di bagian utara daerah penelitian, yaitu di Bayat-Klaten, singkapan batuan Eosen Tengah (Rahardjo, dkk., 1995; Soeria-Atmadja, dkk., 1994; Widiyoko & Barianto, 2018) mungkin mempunyai pengaruh terhadap penyusunan rangkaian Pegunungan Selatan. Demikian pula suksesi di lebih Utaranya, yaitu di Zona Kendeng, pengisian batuan tertua (yang terekam) juga diinisiasi sejak Eosen ((Pertamina-BEICIP, 1985), dan bisa dipahami bahwa Zona Kendeng merupakan busur belakang (*back arc*) yang tentunya sangat dipengaruhi oleh

keberadaan busur magmatik Jawa. Pemahaman yang lebih detail tentang *provenance* batupasir yang diwakili oleh Formasi Sambipitu yang sangat dipengaruhi aktifitas vulkanik dan perkembangan karbonat pegunungan selatan pada Oligo-Miocene, akan memberikan gambaran yang lebih baik mengenai evolusi Cekungan Wonosari dan sekitarnya tidak hanya pada umur Oligo-Miosen tetapi juga pada rentang umur yang lebih tua (Eosen).

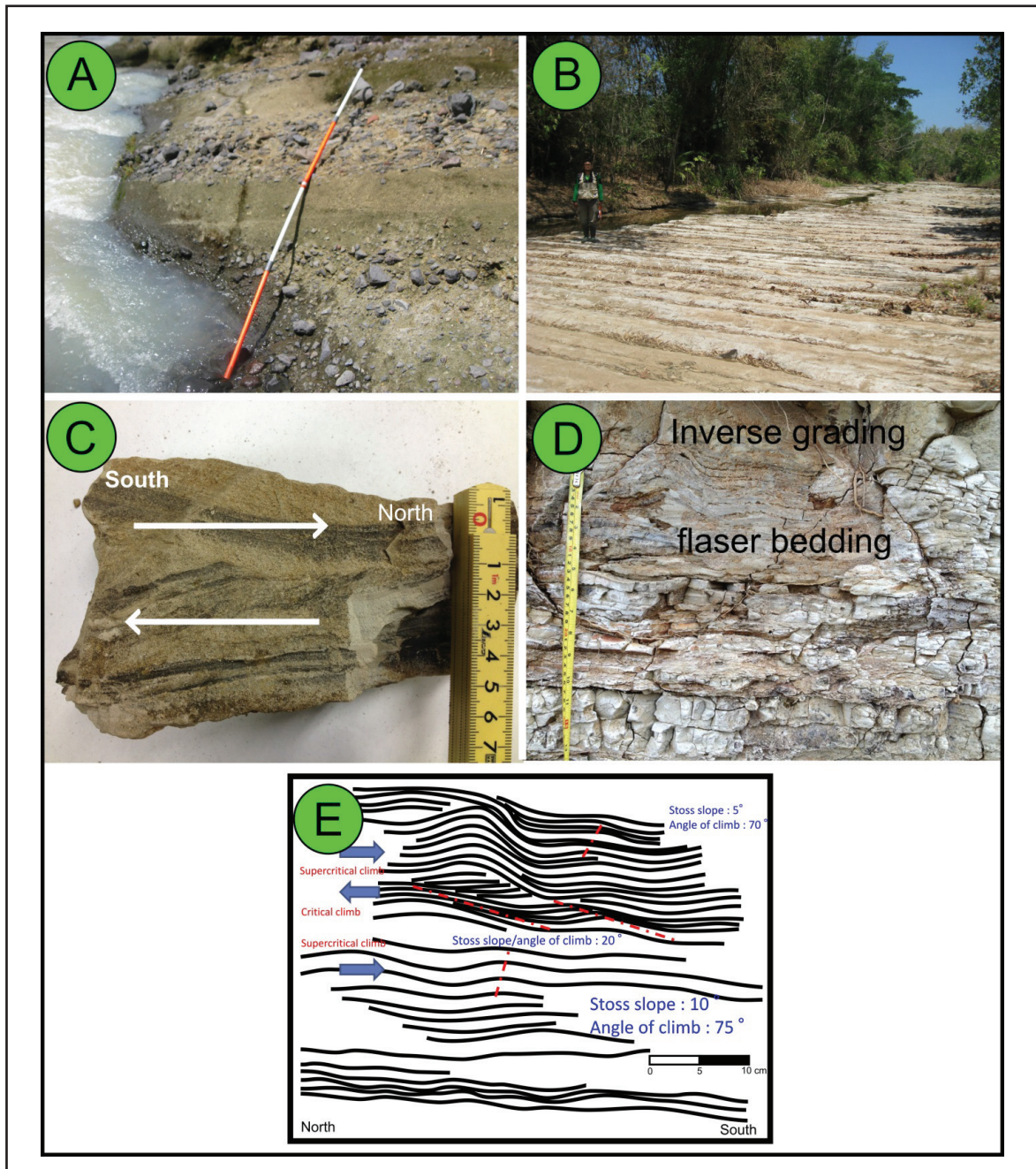
Fasies batupasir Formasi Sambipitu secara umum dapat dibagi 2 (dua), yaitu: batupasir kasar dan batupasir halus yang berselingan dengan batulanau. Dari pengamatan di lapangan, batupasir didominasi oleh fragmen material vulkanik, sangat kontras dengan batulanau yang bersifat karbonatan.

Batupasir kasar berukuran butir sedang sampai sangat kasar (*medium - very coarse*), kadang dijumpai kerikil-kerakal, dan umumnya memiliki ketebalan sedang - sangat tebal. Struktur batuan masif atau gradasi normal, kadang dijumpai laminasi planar di bagian dasar. Sedangkan batupasir halus berbutir

halus hingga sangat halus (*fine - very fine*), dan mempunyai ketebalan sedang hingga sangat tipis. Secara internal, struktur sedimen berupa gradasi normal, laminasi paralel, laminasi arus-riak-silang siur (*current-ripple-cross lamination*) dan kadang berasosiasi dengan laminasi convolut. *Current-ripple-cross lamination* menunjukkan arus paleo berarah tenggara, dan di zona distal daerah penelitian

kadang dijumpai arus paleo dua arah, ke tenggara dan barat laut (Gambar 4).

Batupasir kasar dan batupasir halus menunjukkan ciri litofasies yang identik dengan endapan turbidit dengan densitas tinggi dan densitas rendah (e.g., (Bouma, 1962; Lowe, 1982; Talling, dkk., 2012). Stratifikasi planar yang diamati secara lokal di bagian



Gambar 4

Fitur singkapan representatif dari : (A) Batupasir kasar di bagian Ngalang.

Skala adalah interval 50 cm. (B) Batupasir halus di bagian Kedungkeris.

(C) Lapisan flaser dan arus paleo dua arah dalam lapisan turbidit halus di bagian Kedungkeris.

(D) Laminasi climbing ripple dengan lapisan batupasir di seksi Kedungkeris. (E) Sebuah sketsa perubahan vertikal arah paleocurrent dalam lapisan turbidit membalik (*reflected turbidite*) di seksi Kedungkeris.

dasar pada batupasir berbutir kasar berkembang sebagai karpet traksi (*traction carpet*) daripada sebagai hasil migrasi dan agradasi gelombang dasar (*base wave*) (Rahutama, 2014), yang merupakan ciri khas laminasi paralel divisi Bouma B (Tb) (Lowe, 1982; Talling, dkk., 2012).

Analisis mekanisme sedimentasi menggunakan diagram Visher (1969), secara umum menunjukkan mekanisme sedimentasi didominasi oleh proses *saltasi-suspensi*, dapat dilihat pada Tabel 1. Proses pengendapan partikel sedimen dengan mekanisme sedimentasi saltasi dan suspensi, dapat diinterpretasikan bahwa mekanisme sedimentasi Formasi Sambipitu didominasi oleh sistem arus traksi, analisis granulometri dengan diagram Visher menunjukkan hasil yang sama dengan interpretasi berdasarkan data singkapan batuan pada pembahasan di paragraf sebelumnya.

Arus purba dua arah yang didokumentasikan dalam *current-ripple-cross lamination* menunjukkan arah *downslope* (SE) dan *upslope* (NW), dan endapan ini ditafsirkan terbentuk sebagai endapan turbidit yang dipantulkan (*reflected turbidite*) (e.g., Pantin & Leeder, 1987; Pickering & Hiscott, 1985). Blok *paleo-high* telah terbentuk di bagian selatan Cekungan berdasarkan analisis paleogeografi Formasi Wonasari (Lokier, 2000), beberapa arus turbidite berdensitas rendah yang diarahkan ke lereng bawah mungkin telah dipantulkan sepanjang dinding selatan *paleo-high*. Lebih lanjut, mudstone yang tidak terbioturbasi di atas *reflected turbidite* menunjukkan tingkat pengendapan partikel sedimen berbutir halus yang sangat tinggi, yang mungkin terbentuk sebagai akibat dari suspensi aliran massa (Pickering & Hiscott, 1985; Talling, dkk., 2012).

Tabel 1
Rangkuman analisis mekanisme sedimentasi menggunakan diagram Visher (1969)

No Sampel	Mekanisme sedimentasi (Dominan)
GR-1	Saltasi dan Suspensi
GR-2	Saltasi dan Suspensi
GR-3	Saltasi dan Suspensi
GR-4	Rolling, Saltasi dan Suspensi
GR-5	Saltasi dan Suspensi
GR-6	Saltasi dan Suspensi
GR-7	Saltasi dan Suspensi
GR-8	Saltasi dan Suspensi
GR-9	Saltasi dan Suspensi
GR-10	Saltasi dan Suspensi
GR-11	Saltasi dan Suspensi
GR-12	Saltasi dan Suspensi
GR-13	Saltasi dan Suspensi
GR-14	Saltasi dan Suspensi
GR-15	Saltasi dan Suspensi
GR-16	Saltasi dan Suspensi
GR-17	Saltasi dan Suspensi

Evolusi Busur Magmatik Pulau Jawa Timur sejak Eosen sampai Kuartar,
Berdasarkan Analisis Provenance Batupasir Formasi Sambipitu (Arif Rahutama)

Analisis *provenance* menggunakan diagram QFL Dickinson (1985), menunjukkan sebagian besar sampel daerah penelitian berada pada setting *magmatic arc*, yang terbagi-bagi menjadi *undissected arc*, beberapa *transitional arc*, dan sedikit *dissected arc*, namun ada sedikit anomali pada 3 (tiga) sampel yang berada pada setting *recycled orogen*, yaitu sampel GR 10, GR 11, dan GR 12 (Gambar 5 dan Tabel 2). Selain itu, anomali juga ditunjukkan berdasarkan komposisi mineral berat, yaitu mineral olivin yang hanya ditemukan pada sample GR 10 dan GR 12, sedangkan pada sampel lainnya tidak ditemukan (Gambar 3 bagian kanan).

Dua mekanisme tektonik setting berdasarkan analisis diagram segiga QFL Dickinson (1985) menunjukkan bahwa mekanisme sedimentasi mengalami 2 (dua) periode yang berbeda atau bisa diartikan terdapat 2 (dua) batuan sumber (*source*)

dalam pembentukan Formasi Sambipitu. *Magmatic arc* pada Oligo-Miocene yang bersifat andesitic selain membentuk Gunung Api Purba Nglanggran, dengan terbentuknya Formasi KeboButak-Semilir-dan Nglanggran, juga menjadi pengontrol utama dalam mensuplai material sediment ke arah Tenggara menuju Cekungan Wonosari sehingga terbentuk batuan volkaniklastik Formasi Sambipitu.

Perubahan tectonic setting pada sampel 10, 11, dan 12, mengindikasikan batuan sumber berasal dari *recycled orogen*, yang bisa diartikan bahwa terdapat tinggian (*paleo high*) yang lain yang turut berkontribusi dalam mensuplai material sedimen menuju Cekungan Wonosari. Posisi ketiga sampel tersebut dalam interpretasi *sequen stratigraphy* yang dilakukan oleh Rahutama (2014), berada pada masa penggenangan maksimal (*maximum flooding*) (dapat dilihat dalam Gambar 3), atau perubahan

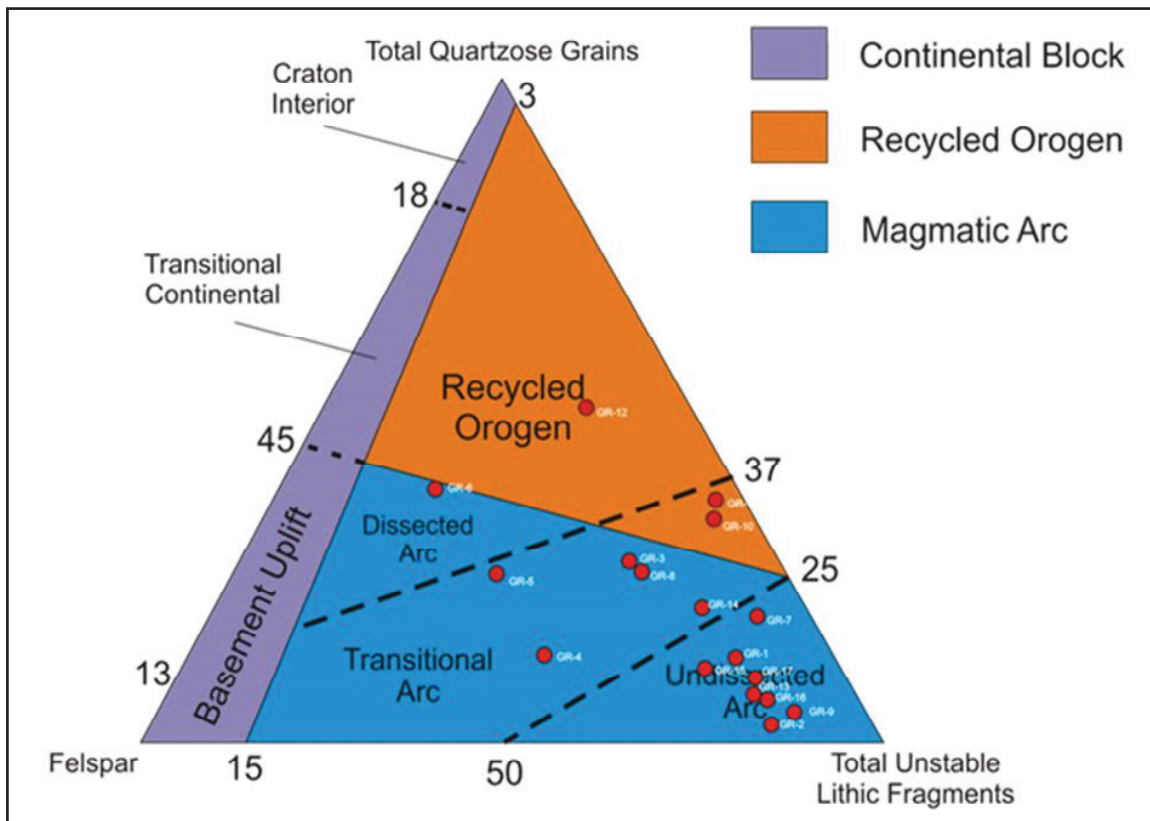
Tabel 2.
Tabulasi hasil diagram QFL (Dickinson, W., 1985)

No Sample	Kuarsa (Q)	Felspar (F)	Litik (L)	Provenance Setting
GR-1	18.92	13.09	75.11	Magmatic Arc
GR-2	6.67	14.49	81.75	Magmatic Arc
GR-3	29.04	22.75	61	Magmatic Arc
GR-4	20.67	35.8	54.99	Magmatic Arc
GR-5	32.08	38.43	31.22	Magmatic Arc
GR-6	46.01	31.42	26.7	Magmatic Arc
GR-7	20.11	12.93	74.86	Magmatic Arc
GR-8	25.3	17.18	52.52	Magmatic Arc
GR-9	7.33	11.54	83.49	Magmatic Arc
GR-10	38.78	8.54	62.54	Recycled Orogen
GR-11	45.28	0.76	65.13	Recycled Orogen
GR-12	58.97	14.02	31.13	Recycled Orogen
GR-13	9.86	15.45	79.37	Magmatic Arc
GR-14	21.2	16.71	71.98	Magmatic Arc
GR-15	15.7	19.24	73.64	Magmatic Arc
GR-16	11.24	14.64	77.94	Magmatic Arc
GR-17	10.32	17.59	77.9	Magmatic Arc
Rata-rata	24.56	17.92	63.6	

muka air laut menuju daratan dikarenakan proses transgresi yang menyebabkan terjadinya perubahan zona erosi menjadi lebih ke darat. Pada awal pembentukan Formasi Sambipitu batuan sumber berasal dari kerucut volcanic dari arah Utara-Barat Laut (Rahutama, 2014) kemudian mengalami penggenangan maksimum sehingga zona erosi pada batas paling atas pada waktu itu menyebabkan erosi permukaan tidak hanya mendaur-ulang *andesitic magmatic arc Oligo-Miocene*, tetapi juga mendaur-ulang tinggian lain (*recycled orogen*) yang juga membawa material bersifat basa/ultrabasa, karena dari komposisinya mengandung mineral Olivin (sampel 10 & 12) yang tidak di jumpai pada sampel yang lainnya.

Berdasarkan studi literature, di Utara lokasi penelitian (+ 20 km ke Utara) merupakan perbukitan Bayat-Klaten yang disusun oleh endapan laut dangkal Formasi Wungkal Gamping (Rahardjo, dkk., 1995; Widiyoko & Barianto, 2018) dan intrusi batuan beku basa (Hirawan, dkk., 2017; Soeria-Atmadja, dkk., 1994), keduanya berumur Eosen. Penelusuran terhadap tinggian (paleo high) yang berkontribusi dalam mensuplai material sedimen ke Cekungan Wonosari di umur Miocene bisa dimungkinkan

berupa tinggian yang mirip/sama dengan tinggian Bayat-Klaten, pada setting *recycled orogen* ditunjukkan dengan komposisi mineral kuarsa yang melimpah yang bisa diyakini sebagai hasil daur ulang dari Formasi Wungkal-Gamping atau sejenisnya, dan kemunculan mineral olivine bisa berasal dari daur-ulang batuan beku basa di wilayah Bayat-Klaten. Rentang umur batuan di tinggian ini tidak terdokumentasi secara detail karena keterbatasan singkapan, namun dari Formasi Wungkal-Gamping diyakini berumur Eosen Tengah (Bronto, 2010; Soeria-Atmadja, dkk., 1994; Widiyoko & Barianto, 2018). Tinggian ini tentunya terpisah dengan kelompok batuan penyusun Pegunungan Selatan berumur Oligo-Miosen, disamping karena rentang umur yang berbeda, posisi sebagai tinggian yang berkontribusi dalam mensuplai kelompok batuan Pegunungan Selatan mengindikasikan bahwa kelompok batuan Bayat/sejenisnya mengalami pengangkatan (orogenesis) pada rentang Eosen Akhir - Oligosen Awal, bersamaan dengan peningkatan aktifitas vulkanik di umur Oligo-Miosen. Model *orogenesis* seperti ini juga terulang kembali pada kelompok batuan Pegunungan Selatan, yang saat ini mengalami pengangkatan di umur Kuartar bersamaan dengan peningkatan aktifitas vulkanik Kuartar.

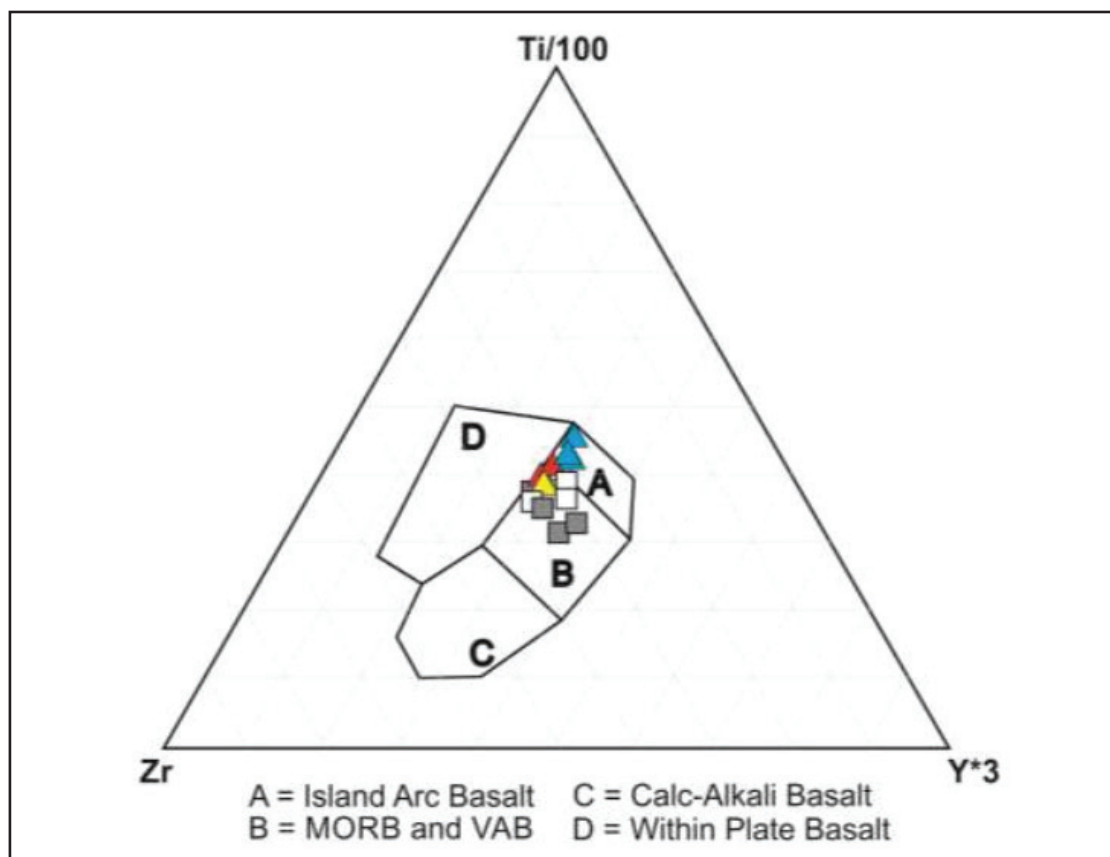


Gambar 5
Plotting sampel pada diagram QFL dari Dickinson (1985).

Menurut Hirawan, dkk. (2017), batuan beku basa di Bayat berumur Eosen atau bisa lebih tua, dan berdasarkan diagram Ti-Zr-Y menunjukkan *tectonic setting island arc - volcanic arc* (Gambar 6), hal ini bisa diinterpretasikan bahwa tipe subduksi di Jawa bagian Timur pada umur Eosen/sebelumnya merupakan busur kepulauan (*island arc*) yang berubah menuju ke busur vulkanik (*volcanic arc*), yang artinya lempeng sundaland (lempeng Eurasia) di Jawa Bagian Timur pada masa sebelum Eosen Awal adalah jenis lempeng samudra atau transisi menuju lempeng benua. Selanjutnya, menurut Smyth, dkk., (2008), busur magmatik yang berkembang di Pegunungan Selatan pada umur Eosen Tengah sampai dengan Miosen Awal bertipe asam, yang bisa diartikan sundaland sudah berubah menjadi lempeng benua sehingga bisa menghasilkan vulkanisme yang mengarah ke asam. Pendapat ini bertolak belakang dengan interpretasi Satyana, (2016), bahwa batuan di daerah Bayat-Klaten dan Jawa bagian Timur pada umur Eosen merupakan bagian dari *microcontinent* lempeng Australia.

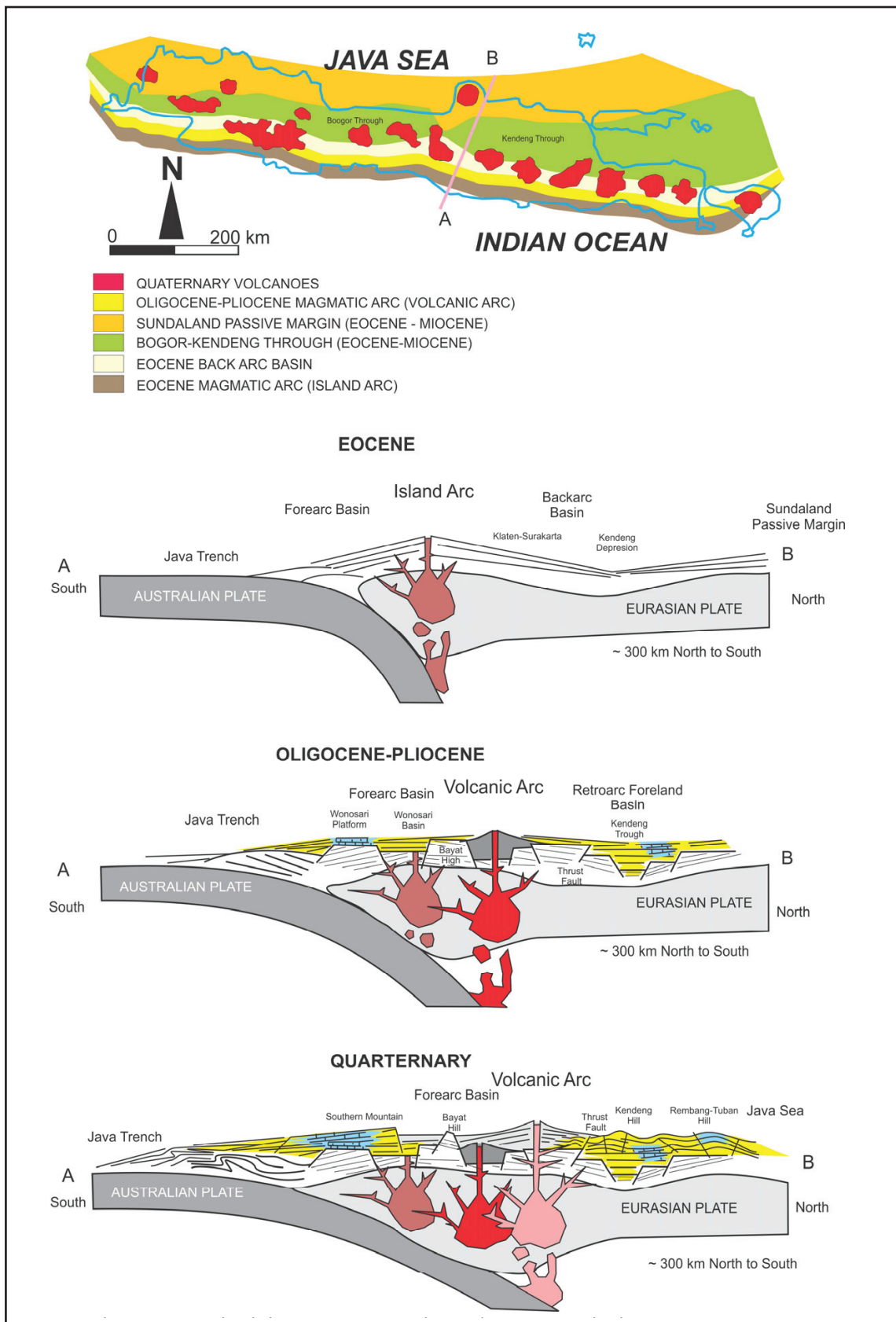
Formasi Wungkal-Gamping sebagai penyusun batuan di Bayat tersusun atas perselingan batupasir

dan batulanau serta lensa batugamping (Rahardjo, dkk., 1995), seting tetonik masih menjadi perdebatan seperti pembahasan pada paragraph sebelumnya. Namun demikian dengan melihat dari evolusi busur magmatik yang bergerak dari selatan menuju Utara seperti yang ditunjukkan pada perpindahan busur magmatik umur Oligo-Miosen ke umur Kuartar, maka kami berpendapat bahwa busur magmatik di umur Eosen/sebelumnya menempati posisi lebih Selatan dibanding posisi di umur Oligo-Miosen, hal yang sama juga diinterpretasikan oleh Smyth, dkk., (2008); dan Soeria-Atmadja, dkk., (1994). Implikasi terhadap pembentukan batuan Eosen di Bayat-Klaten secara tektonik, sebelum mengalami *orogenesis*, adalah sebuah Cekungan yang dikaitkan dengan keberadaan busur magmatik umur Eosen yang berada pada Cekungan busur belakang (*back arc basin*). Cekungan ini bisa kita sebut sebagai Cekungan Klaten-Surakarta, berdasarkan letak lokasi administrasi saat ini, dan bisa diyakini merupakan bagian/mempunyai kaitan dengan Cekungan busur belakang Zona Kendeng yang mulai terbentuk juga di umur Eosen (Pertamina-BEICIP, 1985). Ilustrasi penjelasan ini dapat dilihat dalam Gambar 7.



Gambar 6

Diagram Ti-Zr-Y dari dua kelompok sampel batuan beku di Bayat, menunjukkan *tectonic setting island arc – volcanic arc*, hasil pengolahan Hirawan (2017).



Gambar 7

Evolusi busur magmatic pulau Jawa dari umur Eosen-Kuarter dan hubungannya dengan dinamika sedimentasi cekungan yang terbentuk. Evolusi *magmatic arc* sejak Eosen, dapat dibagi menjadi 3 tahapan, yaitu: 1) *Eosen Island Arc*; 2) *Oligo-Miosen Volcanic Arc*; dan 3) *Quaternary Volcanic Arc*.

KESIMPULAN DAN SARAN

Analisis *provenance* dari Formasi Sambipitu, dan dikombinasikan dengan beberapa studi literature yang berkaitan, dapat memberikan masukan terhadap penyusunan rekonstruksi tektonik Jawa bagian Timur yang secara garis besar dapat dibagi menjadi 3 tahapan, yaitu (Gambar 7).

A. Eosen *Island Arc*

Busur magmatik umur Eosen berada pada posisi Pegunungan Selatan saat ini, sundaland (Eurasia) berjenis lempeng samudra atau transisi menuju lempeng benua. Klaten-Surakarta merupakan bagian Cekungan busur belakang yang menerus ke Utara sampai Zona Kendeng. Zona Kendeng mengalami fase rifting (Pertamina-BEICIP, 1985) bersamaan dengan penurunan aktifitas magmatic di Eosen Akhir.

B. Oligosen - Pliosen *Volcanic Arc*

Busur magmatik bergeser ke Utara dari busur magmatik sebelumnya, sundaland merupakan lempeng benua yang menghasilkan produk batuan bersifat asam (*felsic*) - *intermediet* Pegunungan Selatan. Aktifitas busur magmatik Oligosen menyebabkan Cekungan Klaten-Surakarta mengalami *orogenesis* yang dibatasi oleh *trust fault* di sebelah Utaranya, dan Zona Kendeng merupakan *retroarc foreland basin*, yang diinterpretasikan juga oleh DeCelles & Giles, (1996). Aktifitas magmatik mengalami penurunan pada umur Miosen Akhir – Pliosen yang menyebabkan terbentuknya *graben-graben* seperti *Graben* Klaten ataupun *Graben* Yogyakarta.

C. Quarternary *Volcanic Arc*

Peningkatan tektonik di umur Plestosen menyebabkan sebgaiian Pegunungan Selatan mengalami pengangkatan dan busur magmatik berpindah ke Utara yaitu di bagian Tengah pulau Jawa Seperti yang terlihat pada saat ini. Sundaland merupakan lempeng benua yang menghasilkan volkanisme bersifat *intermediet* dan mengisi *graben-graben* yang telah terbentuk sejak Pliosen dan proses *denudasional* sangat aktif di Zona Kendeng.

Pembahasan yang lebih konprehenship mengenai hubungan antara Pegunungan Selatan (khususnya Cekungan Wonosari), Cekungan Klaten-Surakarta, dan Cekungan Zona Kendeng dengan penambahan data terutama di bagian Zona Kendeng terkait data singkapan batuan khususnya dalam analisis *provenance* dan data *subsurface* (*seismic* dan

sumuran) dapat mengkonfirmasi kondisi bawah permukaan yang berkaitan dengan evolusi magmatik dan tektonik Jawa bagian Timur secara lebih baik.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis pertama-tama ingin mengucapkan terima kasih kepada JOGMEC dan *Inpex Corporation* atas dukungan finansial secara tidak langsung terhadap penelitian ini dan Proffesor Makoto Ito atas diskusi dan supportnya. Terima kasih juga kepada Tim Laboratorium Sedimentologi, Universitas Gadjah Mada atas diskusi yang bermanfaat. Terima kasih khususnya untuk Politeknik Energi dan Mineral (PEM) Akamigas sehingga penulis menjadi bersemangat untuk menulis paper kembali. Akhirnya, saya harus mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada keluarga saya atas dukungan baik mereka terhadap penelitian saya ini.

DAFTAR ISTILAH/SINGKATAN

Simbol	Definisi	Satuan
m	meter	
km	kilo meter	
Ma	Juta tahun lalu	
QFL	<i>Quartz-Feldspar-Lithic</i>	
SE	<i>Southeast</i> (Tenggara)	
NW	<i>Northwest</i> (Barat Laut)	
JOGMEC	<i>Japan Oil, & Gas Metals National Corporation</i>	
PEM	Politeknik Energi dan Mineral	

KEPUSTAKAAN

- Asikin, S., 1974. *Geological evolution of Central Java and its surroundings in terms of new tectonic paradigm*: Unpublished.
- Bouma, A. H., 1962. *Sedimentology of some flysch deposits: a Graphic Approach to facies interpretation*. Amsterdam: Elsevier Publishing Company.
- Bronto, S., 2010. Identifikasi gunung api purba pendul di perbukitan jiwo, kecamatan bayat,

- kabupaten Klaten-Jawa Tengah. *Jurnal Geologi dan Sumberdaya Mineral*, 20(1), pp. 3-13.
- DeCelles, P. G. & Giles, K. A.**, 1996. Foreland basin systems. *Basin Research*, 8(2), p. 105–123.
- Dickinson, W. R.**, 1985. Interpreting provenance relations from detrital modes of sandstones. *Provenance of Arenites*, Volume 148, pp. 333-361.
- Hall, R.**, 1996. Reconstructing Cenozoic SE Asia. *Geological Society*, 106(1), p. 153–184.
- Hamilton, W. B.**, 1979. *Tectonics of the Indonesian region*. Washington DC: USGS Professional Paper.
- Hirawan, A., Bangun, A. S. V., Pratiwi, R. B. & Titisari, A. D.**, 2017. *Characteristics of Basaltic Pillow Lava in Jarum Village, Bayat: Magma Evolution and Petrogenetic Model*. Indonesia, p. 1395–1413.
- Kadar, D.**, 1986. *Neogen planktonic foraminiferal biostratigraphy of the South Central Java area, Indonesia*. Jakarta: Directorate General of Geology and Mineral Resources, Geological Research and Development Centre.
- Katili, J. A.**, 1975. Volcanism and plate tectonics in the Indonesian island arcs. *Tectonophysics*, 26 (3-4), p. 165–188.
- Lokier, S. W.**, 2000. *The Development of the Miocene Wonosari Formation, South Central Java*. Indonesia, Indonesian Petroleum Association, pp. 1-6.
- Lowe, D. R.**, 1982. Sediment gravity flow, II . Depositional models of high-density turbidity currents. *Journal of Sedimentary Research*, 52(1), p. 279–297.
- Pantin, H. M. & Leeder, M. R.**, 1987. Reverse flow in turbidity currents : the role of internal solitons. *Sedimentology*, Volume 34, p. 1143–1155.
- Parkinson, C. D., Miyazaki, K., Wakita, K., Barber, A.J., & 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(1-2), pp. 184-200.
- Pertamina-BEICIP**, 1985. *Hydrocarbon Potential of Western Indonesia*: Pertamina.
- Pickering, K. T. & Hiscott, R. N.**, 1985. Contained (reflected) turbidity currents from the Middle Ordovician Clotidorme Formation, Quebec, Canada : an alternative to the antidune hypothesis. *Sedimentology*, Volume 32, pp. 373-394.
- Rahardjo, W., Sukandarrumidi & Rosidi, H.**, 1995. *Peta Geologi Lembar Yogyakarta, Jawa*. Yogyakarta: Pusat Penelitian Dan Pengembangan Geologi.
- Rahardjo, W., Sukandarrumidi & Rosidi, H. M. D.**, 1995. *Geological map of the Yogyakarta Quadrangle*. Bandung: Geological Research and Development Centre.
- Rahutama, A.**, 2014. *Genetic stratigraphy of the Sambipitu Formation, a Miocene forearc basin-fill in Central Java, Indonesia*, Cepu: PEM Akamigas.
- Rutten, L.**, 1925. On the Origin of the Material of the Neogene Rocks in Java. *Koninklijke Akademie van Wetenschappen Te Amsterdam*, XXIX(1), p. 15–33.
- Said, S.**, 1998. *Facies and diagenesis of Sambipitu Formation sandstones, in Gunungkidul, Jogjakarta*. Bandung: nstitut Teknologi Bandung.
- Satyana, A.**, 2016. *The emergence of pre-cenozoic petroleum system in east java basin: constraints from new data and interpretation of tectonic reconstruction, deep seismic, and geochemistry*. Indonesia, Indonesian Petroleum Association.
- Smyth, H. R., Hall, R. & Nichols, G. J.**, 2008. Significant Volcanic Contribution to Some Quartz-Rich Sandstone, East Java. *Journal of Sedimentary Research*, Volume 78, p. 335–356.
- Smyth, H. R., Nichols, G. J. & Hall, R.**, 2008. Cenozoic volcanic arc history of East Java , Indonesia : The stratigraphic record of eruptions on an active continental margin. In: A. E. Draut, P. D. Clift & D. W. Scholl, eds. *Formation and Applications of the Sedimentary Record in Arc Collision Zones*, p. 199-222.
- Soeria-Atmadja, R., Maury, R.C., Bellon, H., Pringgoprawiro, H., Polve, M., & Priadi, B.**, 1994. Tertiary magmatic belts in Java. *Journal of Southeast Asian Earth Sciences*, Volume 9, p. 13–17.
- Soeria-Atmadja, R., Suparka, S., Abdullah, C., Noeradi, D., & Sutanto**, 1998. Magmatism in western Indonesia, the trapping of the Sumba Block and the gateways to the east of Sundaland. *Journal of Asian Earth Sciences*, 16(1), pp. 1-12.
- Sribudiyani, Muchsin, N., Ryacudu, R., Kunto, T., Astono, P., Prasetya, I., Sapiie, B., Asikin, S., Harsolumakso, A.H., & Yulianto, I.**, 2003. *The collision of the East Java Microplate and its implication for hydrocarbon occurrences in the East java Basin*. Indonesia, Indonesian Petroleum Association.
- Talling, P. J., Masson, D. G., Sumner, E. J. & Malgesini, G.**, 2012. Subaqueous sediment density flows: Depositional processes and deposit types. *Sedimentology*, 59(7), p. 1937–2003.

- van Bemmelen, R. W.**, 1949. *The Geology of Indonesia*, The Hague: Government Printing Office : Martinus Nijhoff.
- Visher, G. S.**, 1969. Grain Size Distribution and Depositional Processes. *Journal of Sedimentary Petrology*, Volume 39, pp. 1074-1106.
- Wakita, K.**, 2000. Cretaceous accretionary-collision complexes in central Indonesia. *Journal of Asian Earth Sciences*, 18(6), pp. 739-749.
- Widiyoko, I. & Barianto, D. H.**, 2018. *Batuan asal dan paleogeografi formasi wungkal - gamping, klaten, jawa tengah dan formasi nanggulan, Kulon Progo, Daerah Istimewa Yogyakarta 1*. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.
- Zachos, J., Pagani, M., Sloan, L., Thomas, E., & Billups, K.**, 2001. Trends, rhythms, and aberrations in global climate 65 Ma to present. *Science*, 292(5517), p. 686–693.