



Gunung Api Purba Balawaian Diinterpretasi Pada Citra Radar *Balawaian Ancient Volcano Interpreted On Radar Imagery*

Sidarto

Pusat Survei Geologi, Badan Geologi
 Jalan Diponegoro Nomor 57, Bandung 40122
 email : sidarto55@yahoo.com

Naskah diterima : 6 Maret 2017, Revisi terakhir : 21 Februari 2018, Disetujui : 22 Februari 2018, Online : 27 Februari 2018

DOI: <http://dx.doi.org/10.33332/jgsmm.geologi.19.1.47-58>

Abstrak - Geologi Pegunungan Meratus cukup kompleks dan masih diperdebatkan sampai sekarang. Aktivitas magmatik daerah ini dicirikan dengan terdapatnya berbagai macam batuan beku dan batuan gunung api. Kenampakan morfologi gunung api purba Balawaian dapat dikenali pada citra radar. Selanjutnya, validasi batuan penyusun daerah ini dilakukan dengan pengamatan di lapangan, dan kemudian analisis sampel batuan di laboratorium yang meliputi analisa petrografi dan geokimia. Secara morfologi, Gunung api purba Balawaian disimpulkan berbentuk kerucut terpancung dengan batuan penyusun terdiri atas basal amfibol yang diduga berasal dari magma basal tholeiit. Gunung api ini menerobos satuan andesit Kapur Akhir-Paleosen Akhir dan diduga berumur Miosen Akhir atau Mio-Pliosen (Neogen). Magma gunung api ini ditafsirkan berasal dari hasil penunjaman pada Kapur Akhir yang terjebak di bawah selubung sehingga bersifat basal tholeiit dan kemudian mengalir ke permukaan yang dikontrol oleh cekungan pull-apart dari sesar mendatar mengangan Balawaian.

Kata Kunci : Balawaian, citra radar, basal amfibol, Meratus, Neogen.

Abstract - The geology of Meratus Mountain is relatively complex and still arguable until these day. Its magmatic activity is characterized by variation of igneous and volcanic rocks. Morphology feature of Balawaian paleo volcano can be recognized with radar imagery. Furthermore, validation of rocks constituent is observed directly from the field and hand sample laboratory analysis include the petrography and geochemistry. As the result, the morphology of Balawaian volcano is concluded as a truncated cone and composed by amphibole basalt which assumed come from the tholeiitic magma origin. The volcano intruded the Late Cretaceous - Late Paleocene andesite-basalt unit during Late Miocene or Mio-Pliocene (Neogene). The volcano's magma is then interpreted has originate from Late Cretaceous subduction which trapped in the lower mantle and then flowed to the surface by the influence of Balawaian dextral fault pull apart basin.

Keyword: Balawaian, radar imagery, amphibole basalt, Meratus, Neogen.

PENDAHULUAN

Pulau Kalimantan merupakan pulau terbesar kedua di Indonesia setelah Papua dan terletak di tengah negara-negara Asia Tenggara. Amiruddin dan Trail (1993) menyebutkan bahwa batuan alas Pulau Kalimantan tersingkap di bagian baratdaya, yang terdiri atas batuan kerak benua berumur Paleozoikum, namun Davis drr. (2014) menyebutkan bahwa batuan granitoid yang tersingkap di daerah ini berumur Kapur Awal, yang merupakan akresi ke selatan dari Kraton Sunda pada Kapur Awal. Sementara Zahirovic drr. (2014) mengatakan bahwa sejak Kapur Awal, inti baratdaya Kalimantan ini sudah merupakan tepi tenggara Benua Asia. Berdasarkan data seismotektonik Indonesia (Hall, 2010), sumber gempa tektonik dangkal di Pulau Kalimantan relatif sedikit dibandingkan pulau-pulau lain di sekitarnya, hal ini menunjukkan bahwa pulau ini secara geologi lebih stabil. Meskipun relatif stabil, di pulau ini masih terdapat beberapa sumber gempa dangkal yang relatif lurus. Rohadi dan Masturyono (2015) yang telah melakukan penelitian seismotektonik di Pulau Jawa, menyatakan bahwa sumber gempa relatif lurus menunjukkan aktifitas sesar aktif. Berdasarkan penelitian tersebut, Pulau Kalimantan yang semula dianggap relatif stabil diduga masih terdapat sesar aktif; dan pada umumnya berasosiasi dengan batuan terobosan dan gunung api.

Aktifitas magmatik di Kalimantan mempunyai rentang waktu lama, yang ditunjukkan oleh batuan granitik berumur Trias sampai Kapur Akhir, serta batuan gunung api dan asosiasinya berumur Trias sampai Plio-Plistosen (Hartono, 2012). Sementara itu Pegunungan Meratus yang terletak di Kalimantan Tenggara, secara geologi masih banyak diperdebatkan. Gunung api dapat tersusun oleh berbagai macam batuan beku tergantung proses pengontrolnya. Penampakan gunung api dicirikan oleh morfologi berbentuk kerucut, oleh karena itu gunung api sangat mudah dikenali pada citra. Namun gunung api purba pada umumnya telah terdeformasi dan tererosi sangat kuat, sehingga bentuk dan tata letak gunung api sudah sulit diamati (Bronto, 2010).

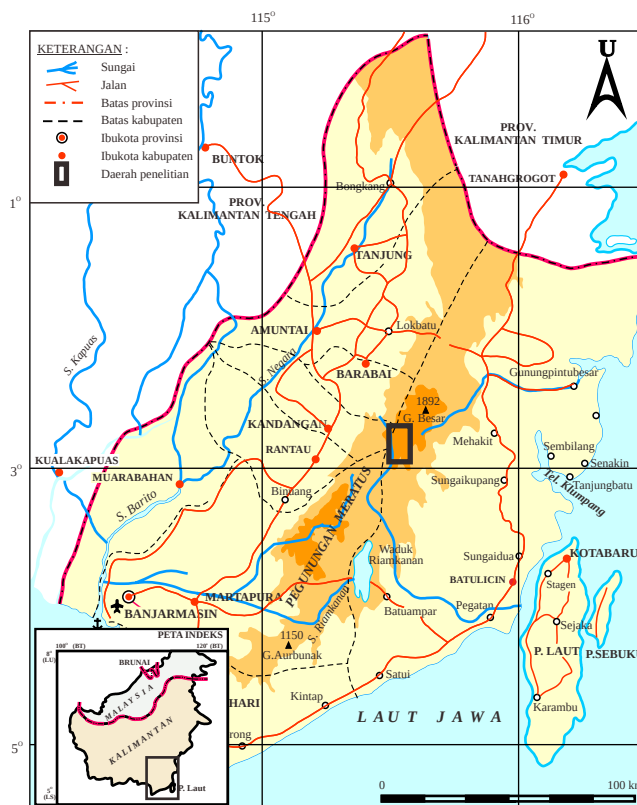
Daerah Pegunungan Meratus mempunyai elevasi cukup tinggi dibandingkan daerah di sekitarnya. Pegunungan ini merupakan salah satu daerah di Kalimantan yang selalu diliputi awan, oleh karena itu data indera jauh optik jarang memperoleh citra bebas awan. Untuk memperolehnya digunakan teknologi radar, sebab radar dapat menembus awan. Saat ini indera jauh radar menghasilkan dua citra, yaitu citra *Digital Elevation*

Model (DEM) yang memperlihatkan penampakan morfologi dengan sangat jelas; dan citra *Ortho Rectified Radar Image* (ORRI) yang merupakan hasil pantulan gelombang radar. Dalam Peta Geologi Lembar Amuntai skala 1:250.000 (Haryanto dan Sanyoto, 1994), Gunung Balawaian merupakan bagian dari sebaran Granit Balawaian, sementara itu pada citra radar, gunung ini menunjukkan morfologi kerucut terpancing. Tulisan ini membahas Gunung api Balawaian purba diinterpretasi citra radar, yang divalidasi data lapangan, dan sampelnya dianalisis secara petrografi, geokimia; dan analisis struktur geologi.

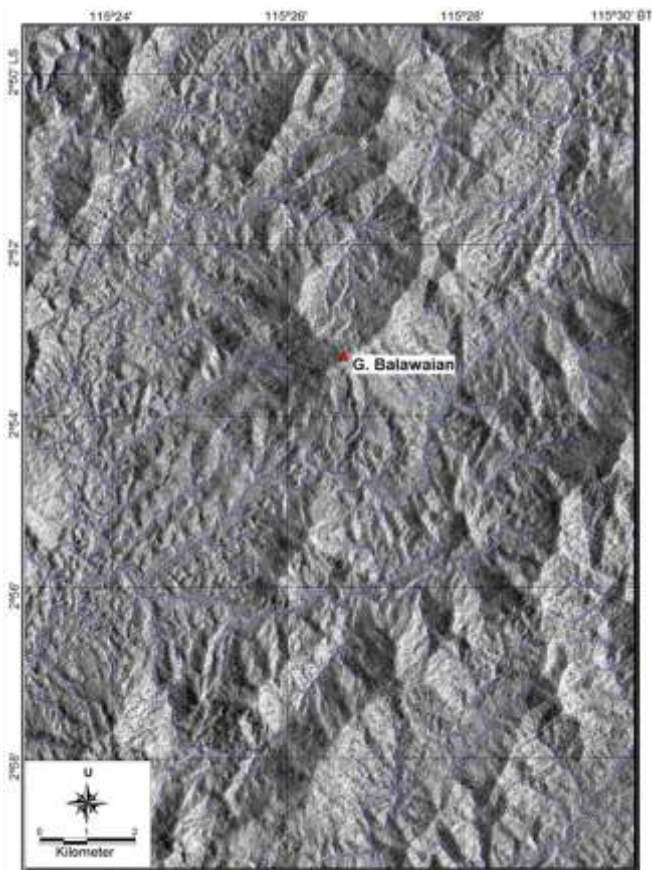
Secara kepomongparajaan, lokasi Gunung Balawaian terletak di Kecamatan Loksado, Kabupaten Hulu Sungai Selatan, Provinsi Kalimantan Selatan. Pada Peta Rupabumi skala 1:50.000 Badan Informasi Geospial (BIG) termasuk Lembar Kandangan (Gambar 1).

METODOLOGI

Citra yang digunakan dalam penelitian ini adalah citra Radarsat-2 yang dimiliki oleh Laboratorium Inderaan Jauh, Pusat Survei Geologi. Citra ini terdiri atas citra *Digital Elevation Model* (DEM) resolusi 10 m, dan citra *Orthorectified Image* (ORI) resolusi 3,25 m. Kedua citra ini ditumpang-tindihkan, agar supaya citra memperlihatkan morfologi jelas dan rinci (Gambar 2).



Gambar 1. Lokasi Daerah Penelitian



Gambar 2. Tumpangtindih citra DSM dan ORI (Citra Radarsat-2).

Interpretasi geologi dilakukan secara manual pada layar komputer, yang didasarkan atas penampakan morfologi dan pola aliran. Untuk validasi hasil interpretasi dilakukan pengecekan lapangan yang disertai pengambilan contoh batuan dan pengambilan foto singkapan batuan. Contoh batuan dianalisis secara petrografi dan geokimia untuk mengetahui petrogenesisnya. Analisis geokimia dilakukan dengan

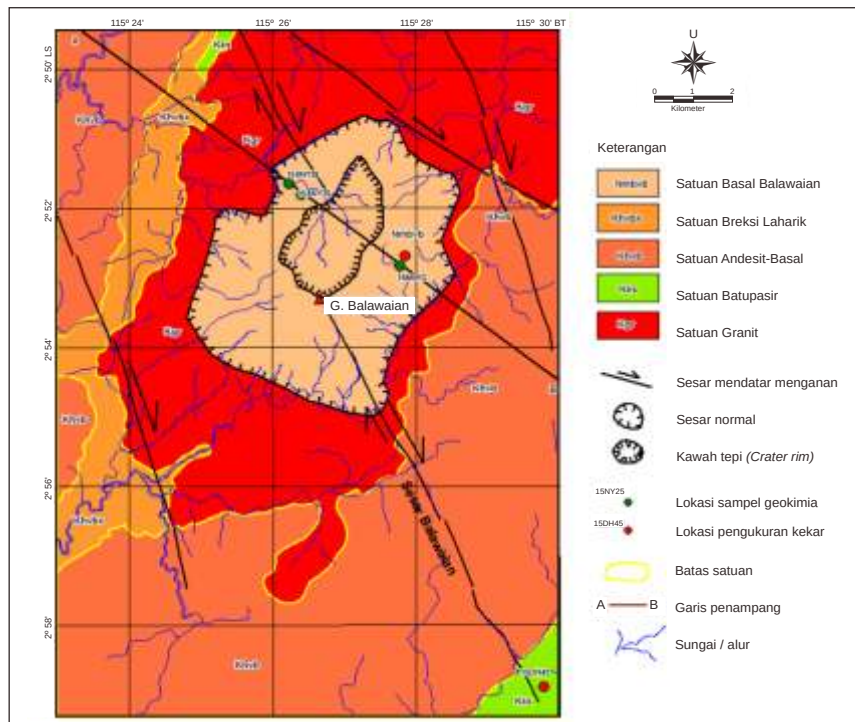
menggunakan metode *X-Ray Fluorescence* (XRF), dan *Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry* (ICP-MS) di Laboratorium, Pusat Survei Geologi. Dalam pengeplotan dan pemodelan, unsur utama dinormalisasi ke 100% berat unsur volatil bebas (*volatile free*) yaitu dengan menghilangkan unsur habis dibakar, sehingga batuan dianggap sebagai batuan segar, dan merepresentasikan kondisi aslinya, yaitu FeO sebagai FeO total. Analisis penentuan umur tidak dilakukan, umur batuan dibandingkan dengan penelitian terdahulu, dan untuk mengetahui pemunculannya dilakukan analisis struktur geologi.

HASIL INTERPRETASI

Peta geologi inderaan jauh Gunung Balawaian dan sekitarnya, serta rincian setiap satuan geologi dapat dilihat pada Gambar 3 dan Tabel 1. Berdasarkan peta tersebut, batuan di daerah ini dialasi oleh satuan granit (Kgr) yang dapat dibandingkan dengan Granit Balawaian berumur Kapur Awal (Sikumbang dan Heryanto, 1994); atau Granit Batang Alai berumur Kapur Awal (Hartono, 2012). Satuan granit ini ditindih secara tidak selaras oleh satuan batupasir (Kks), satuan andesit-basal (Khvb) dan satuan breksi (Khvbx), yang masing-masing berhubungan menjemari. Satuan batupasir tersusun oleh batupasir dengan sisipan batulempung (diskripsi hasil interpretasi pada Tabel 1). Berdasarkan kesamaan batuan penyusunnya, satuan ini dapat dibandingkan dengan Formasi Keramaian. Menurut Haryanto (2000) formasi ini berumur Kapur Akhir, namun berdasarkan analisis fosil foraminifera kecil di Desa Mawangi menunjukkan umur Paleosen Tengah - Akhir, dan diendapkan dalam lingkungan bathyal tengah (Novita, 2015).

Tabel 1. Rincian penampakan satuan batuan berdasarkan inderaan jauh

Satuan Peta	Ciri - ciri penampakan pada citra	Hasil pengecekan lapangan	Satuan diusulkan
Nmbvb	Morfologi pegunungan kerucut terpancung, pola aliran menyebar (radial) dengan kerapatan sedang - rapat. Lembah berbentuk huruf v sempit dan dalam	andesit-basal	Basal Balawaian
Khvbx	Morfologi perbukitan dengan puncak meruncing, pola aliran sejajar, kerapatan sedang, bentuk lembah sempit dan dangkal.	breksi	Satuan breksi
Khvb	Morfologi punggung pegunungan dengan puncak meruncing, pola aliran sejajar dan kerapatan aliran sedang, serta membentuk lembah sempit dan dalam.	andesit - basal	Satuan basal - andesit
Kks	Morfologi perbukitan dengan puncak tumpul, sebaran batuan tidak luas sehingga pola aliran tidak berkembang	batupasir dengan sisipan batulempung	Satuan batupasir
Kgr	Morfologi perbukitan dengan puncak tumpul, aliran sungai berpola denritik dengan kerapatan sedang, dengan bentuk lembah v sempit dan dangkal	granit	Satuan granit



Gambar 3. Peta Geologi Inderaan jauh Gunung Balawaian dan sekitarnya.

Singkatan di desa ini diduga bagian atas dari Formasi Keramaian, maka satuan ini ditafsirkan berumur Kapur Akhir – Paleosen Akhir. Satuan andesit - basal (Khvb) tersusun oleh lava andesit - basal, yang berwarna abu-abu gelap, bertekstur hipokristalin mikro porfiro afanitik, dan secara mikroskopis tersusun oleh mineral plagioklas, piroksen dan mineral bijih (fenokris) di dalam massadasar felspar, mineral mafik, mineral bijih, dan mineral gelas. Berdasarkan kesamaan batuan, satuan ini dapat dibandingkan Formasi Haruyan. Di beberapa tempat terdapat struktur aliran yang diduga sebagai lava bantal. Adanya struktur bantal menunjukkan sebagai aliran lava bawah laut. Berdasarkan sebaran batuan dan stratigrafi regional, satuan andesit - basal dan satuan batupasir yang diendapkan dalam lingkungan *bathyal* berhubungan saling menjemari. Hal ini memperkuat dugaan bahwa satuan andesit - basal merupakan aliran lava bawah laut.

Di lapangan satuan breksi (Khvbx) tersusun oleh breksi dengan fragmen terbuka dalam massadasar tuf. Fragmen berukuran kerakal sampai bongkah, berbentuk meruncing, dan terdiri atas andesit dan basal. Berdasarkan kesamaan batuan, satuan ini dapat dibandingkan dengan Formasi Haruyan. Di lapangan satuan ini berselingan dengan satuan batupasir, sehingga kedua satuan tersebut berhubungan saling menjemari. Berdasarkan hubungan menjemari dengan

satuan batupasir, satuan ini diduga diendapkan dalam lingkungan laut dalam, dan berumur Kapur Akhir - Paleosen Akhir. Satuan basal Balawaian menerobos satuan granit, dan satuan andesit - basal. Diskripsi pada citra dan kenampakan di lapangan (Tabel 1), satuan ini terdiri atas basal.

DATA LAPANGAN DAN PENGAMATAN PETROGRAFI

Di lapangan sangat sulit menemukan singkapan batuan dalam kondisi segar di sekitar Gunung Balawaian, karena tanah lapukannya cukup tebal. Ada tiga singkapan yang ditemukan di lapangan, yaitu dua lokasi (SNY26 dan 15ML13) terdapat di lembah sungai, dan satu lokasi SNY25 terletak di lereng pegunungan (Gambar 3).

Singkapan di lokasi SNY26 berupa basal, berwarna kehitaman, masif, afanit (Gambar 4a) yang secara petrografi (Gambar 4b) menunjukkan tekstur hipokristalin sampai mikro porfiri afanitik dengan bentuk kristal subhedral sampai anhedral, dan komposisi mineral disusun oleh plagioklas (60%) yang berjenis andesin-labradorit dengan kembaran carlsbad-albit, sebagian berzonasi, dan sedikit berubah; kuarsa (9%); piroksin (10%) berbentuk anhedral, sebagian telah berubah; mineral bijih (4%); dan mineral gelas (8%). Berdasarkan diskripsi petrografi tersebut, batuan beku ini disebut sebagai andesit piroksin.



Gambar 4. Singkapan SNY26 di lapangan (a), dan penampakan petrografi (b).

Singkapan ML13 terdapat di dinding sungai (Gambar 5a), penampakan megaskopis menunjukkan warna abu kehitaman, tekstur porfiri afanitik, dan berstruktur terkekarkan sangat kuat, sedangkan penampakan pengamatan petrografi (Gambar 5b) bertekstur vitrovir, dengan kristal berbentuk subhedral hingga anhedral; dan tersusun oleh fenokris yang terdiri atas plagioklas (16%), berbentuk prismatic memanjang, subhedral-anhedral, sedikit terubah, jenis andesin; piroksen (4%) mengelompok, umumnya berbentuk anhedral, dan sedikit terubah; dan mineral bijih yang berbentuk anhedral, ukuran mencapai 0.50 mm; serta massadasar berupa mikrolit tak terpisahkan (25%) dan mineral gelas (44%). Berdasarkan kriteria petrografi tersebut batuan ini disebut andesit.

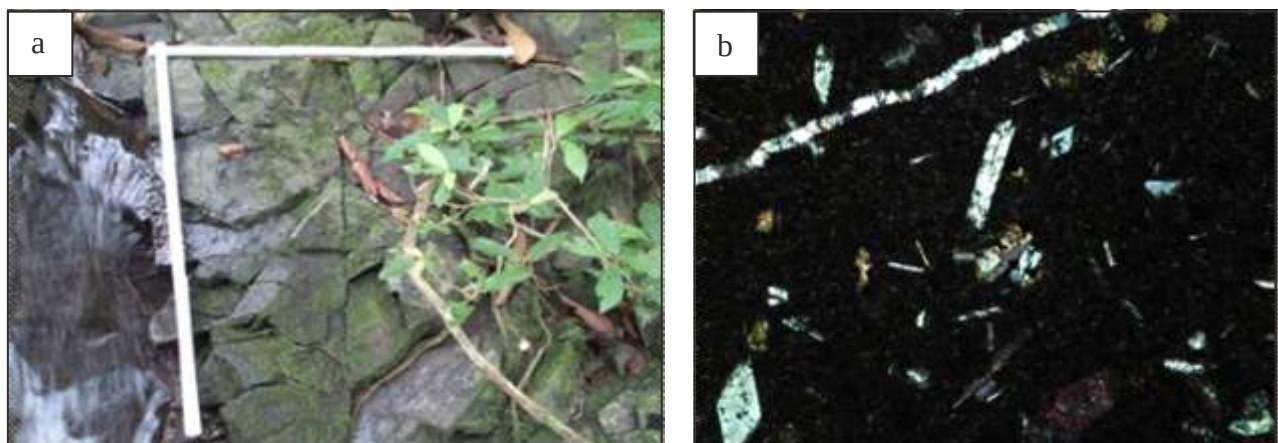
Singkapan SNY25 terletak di lereng bukit berupa andesit basal berwarna kehitaman, struktur masif, tekstur porfiri (Gambar 6a), yang secara mikroskopis (Gambar 6b) menunjukkan tekstur porfiri, struktur masif, komposisi fenokris terdiri atas plagioklas (56%), amfibol (32%), kuarsa (4%), dan mineral tambahan (2%), dalam massadasar felspar dan gelas. Batuan ini termasuk basal amfibol.

ANALISIS GEOKIMIA

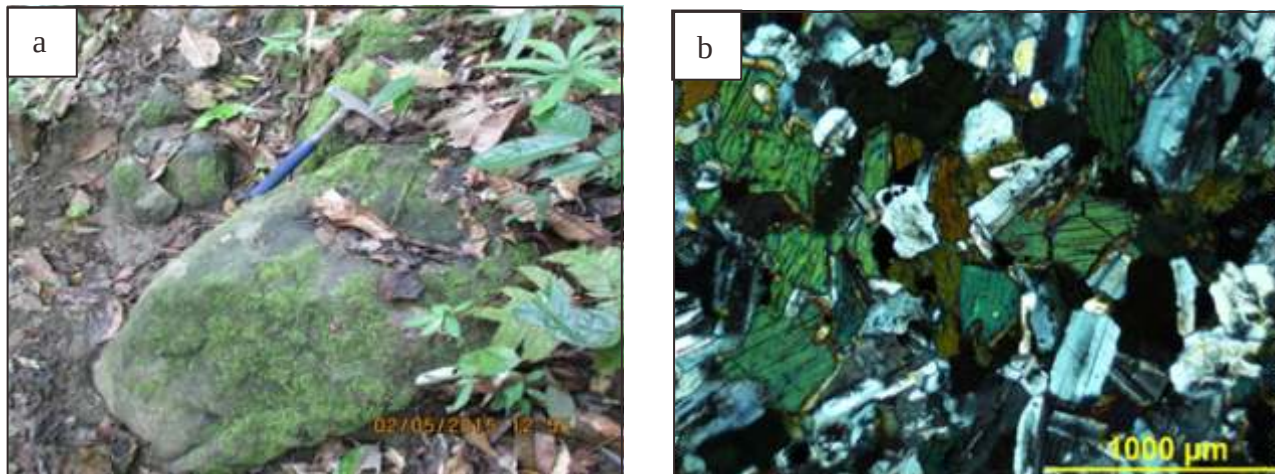
Tiga sampel Gunung Balawaian dan sekitarnya dianalisis geokimia, yaitu masing-masing sampel SNY25, sampel ML13 dan sampel SNY 26. Hasil analisis laboratorium (Tabel 2) terdiri atas unsur utama (*major elements*), unsur jejak (*trace elements*) dan unsur tanah jarang (*rare earth elements*).

Analisis unsur utama

Berdasarkan pengeplotan (plotting) SiO_2 terhadap total alkali ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$) dalam diagram LeBas dr. (1986) menunjukkan bahwa sampel SNY25 merupakan basal, sampel ML13 merupakan andesit, dan sampel SNY26 adalah andesit - andesit trakit (Gambar 7). Sementara itu, pengeplotan SiO_2 terhadap K_2O dalam Diagram Peccerillo dan Taylor (1976) menunjukkan bahwa sampel SNY25 termasuk *basalt arc tholeiit series*, ML13 termasuk *andesite high K-calc-alkaline series*, dan sampel SNY26 termasuk *andesite calc-alkaline series* (Gambar 8).



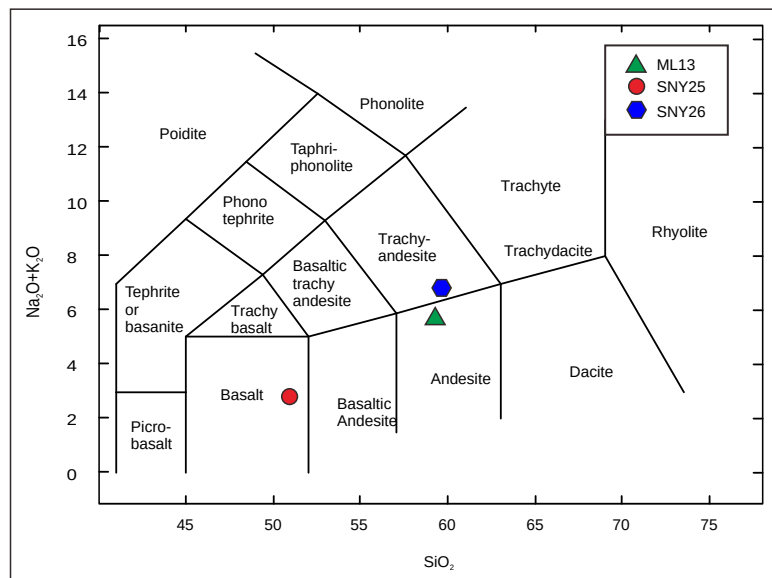
Gambar 5. Singkapan ML13 di lapangan (a), dan penampakan petrografi (b).



Gambar 6. Singkapan SNY25 di lapangan (a), dan penampakan petrografi (b).

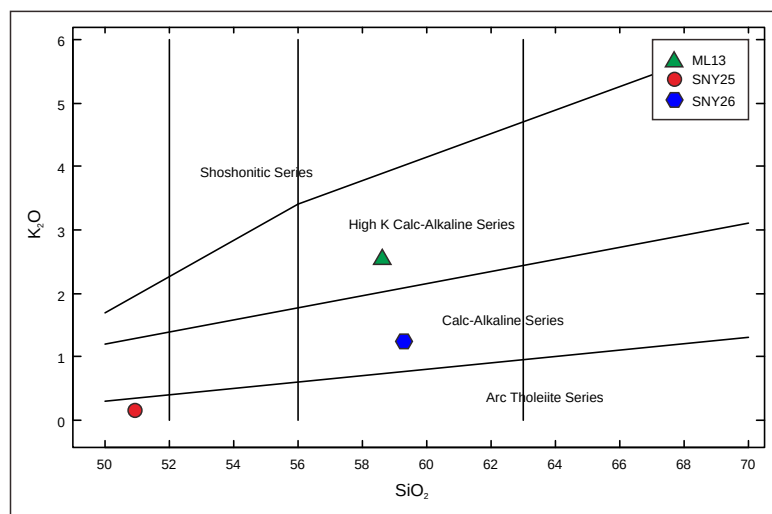
Tabel 2. Hasil analisis geokimia batuan beku daerah penelitian.

Unsur Utama (% berat)	Nomor sampel		
	ML13	SNY25	SNY26
SiO ₂	56.17	49.3	58.21
TiO ₂	0.648	0.762	0.717
Al ₂ O ₃	13.08	17.08	15.45
Fe ₂ O ₃	11.12	13.57	11.65
MnO	0.296	0.197	0.231
CaO	5.13	10.99	3.92
MgO	3.52	4.49	2.11
Na ₂ O	3.38	2.36	5.14
K ₂ O	2.4	0.262	1.21
P ₂ O ₅	0.791	0.119	0.483
LOI	2.37	0.98	2.21
Mg#	38.54185	39.59578	
Unsur jejak (ppm)			
Ba	496	81.2	231
Rb	43.00		18.00
Sr	288	218	283
Zr	63.00		
Nb	6.57	1.84	2.71
Ni			
Co	28.00	63.00	35.00
Zn	182.00	79.00	90.00
Cr	44.00	64.00	
La	19.4	3.88	11.7
Ce	45.9	9.01	27.3
Pr	6.98	1.23	4.17
Nd	30.2	5.48	18.2
Sm	7.09	1.73	4.67
Eu	1.33	0.47	1.01
Gd	4.44	1.46	3.23
Tb	0.76	0.32	0.6
Dy	4.71	2.33	4.08
Ho	0.93	0.51	0.86
Er	2.37	1.39	2.36
Tm	0.33	0.2	0.35
Yb	2.09	1.31	2.24
Lu	0.31	0.21	0.34
Y	28.4	15.6	26.8
Cs	0.63	0.64	0.52
Ta	0.4	0.09	0.21
Sc	19.2	48.5	17.4
Ga	19.8	13.5	13.5
Tl	0.13	0.02	0.08



Sumber : Le Bas drr.,(1986).

Gambar 7. Klasifikasi batuan beku di daerah penelitian berdasarkan diagram alkali total versus silika



Sumber : Peccerillo dan Taylor (1976)

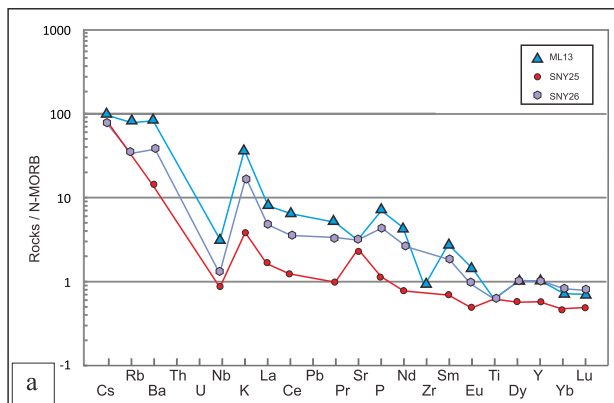
Gambar 8. Klasifikasi batuan beku di daerah penelitian, berdasarkan diagram SiO₂ dan K₂O.

Analisis unsur jejak dan unsur tanah jarang

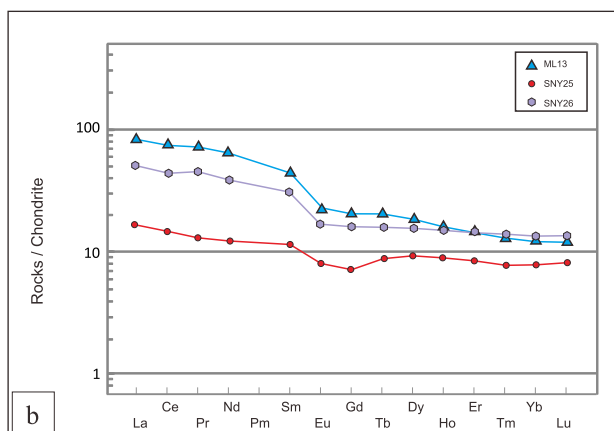
Unsur jejak dan unsur tanah jarang diplot dalam diagram laba-laba (Gambar 9). Diagram unsur jejak (Gambar 9A) terdapat deplesi Nb terhadap K dan La menunjukkan batuan terbentuk pada zona penunjaman, dan grafik unsur jarang (Gambar 9B) menunjukkan unsur langka ringan (*light rare earth elements* = LREE) lebih besar daripada unsur langka berat (*high field strength elements* = HFSE) menandakan batuan/magma telah terdiferensiasi, dan terdapatnya anomali negatif Eu menunjukkan terdapat fraksinasi plagioklas.

STRUKTUR GEOLOGI

Struktur yang dijumpai di daerah penelitian terdiri atas kekar dan penampakan beberapa kelurusan sesar yang berarah utara baratlaut - selatan tenggara, dan barat baratlaut - timur tenggara. Sementara itu, hasil analisis kekar di lokasi DH43 yang terletak di sekitar Sesar Balawaian (salah satu dari kelurusan berarah utara baratlaut - selatan tenggara, Gambar 11B), menunjukkan bahwa sesar tersebut merupakan *dextral*



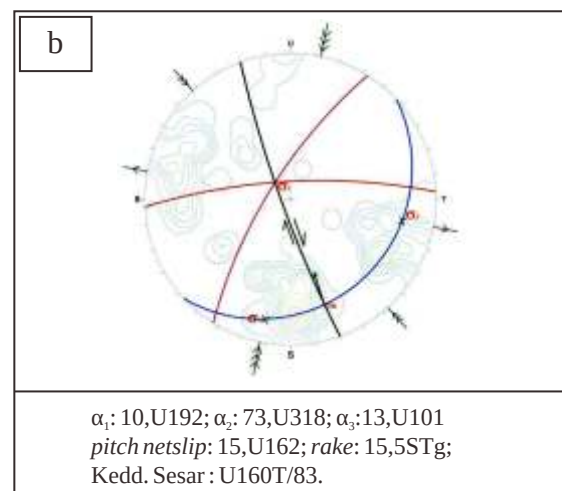
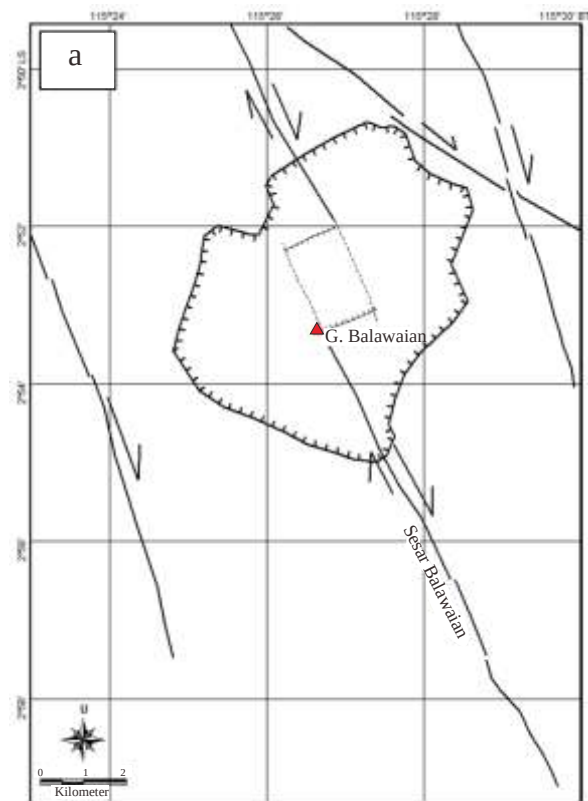
Sumber : Sun & McDonough (1989)



Sumber : Sun & McDonough (1989)

Gambar 9. Diagram laba-laba batuan beku daerah penelitian yang telah dinormalisasikan ; a) Unsur jejak; dan b) Unsur tanah jarang.

wrench fault (klasifikasi Anderson, 1951), sedangkan dalam klasifikasi Rickard (1972) termasuk *reverse dextral slip fault*. Kekar di lokasi ML13 diukur dan dianalisis dengan stereonet, yang hasilnya menunjukkan ada tiga maksima (Gambar 12). Analisis gaya utama dilakukan dengan kombinasi silang, yang menghasilkan 3 kemungkinan. Kombinasi maksima 1-2 (Gambar 13A) dan kombinasi maksima 1-3 (Gambar 13B) masing-masing menghasilkan gaya utama terbesar relatif tegak (kombinasi 1-2 yaitu α_1 : 61, U130E dan kombinasi 1-3 yaitu α_1 : 54, U287E).



Gambar 11. Analisis Sesar Balawaian secara regional (A), dan analisis kekar di lokasi DH43 (B).

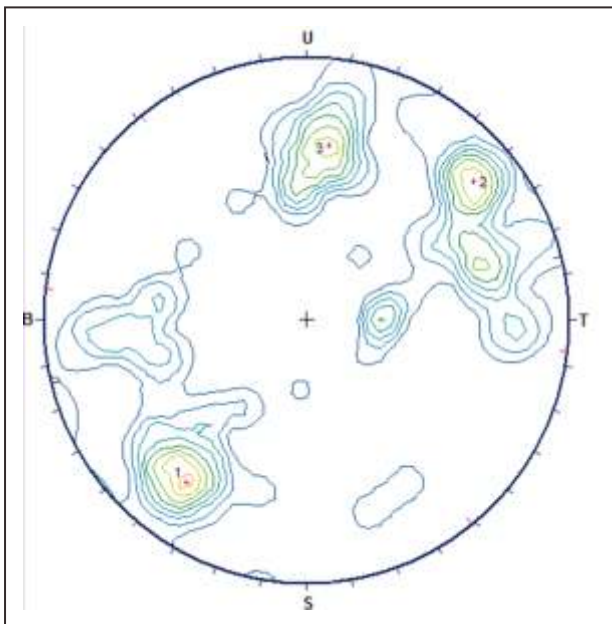
Gaya utama terbesar ini merupakan gaya vertikal yang mungkin berhubungan dengan sesar normal atau *collapse* nya tubuh gunung api; sedangkan kombinasi maksimum 2-3 menunjukkan gaya utama terbesar relatif mendatar dengan arah U294T – U104T (Gambar 13C), yang relatif sejajar kelurusan barat baratlaut - timur tenggara, dan diduga berhubungan dengan tektonik regional.

Yusuf drr. (2015) juga telah melakukan analisis kekar di Daerah Binuang (di selatan daerah penelitian), menyebutkan bahwa evolusi tektonik Daerah Binuang terdiri atas: tektonik Pra Kenozoikum - Eosen yang mengontrol adanya *rifting* berarah timurlaut - baratdaya dan sesar normal berarah baratlaut - tenggara; dan tektonik Pliosen yang ditandai adanya kompresi

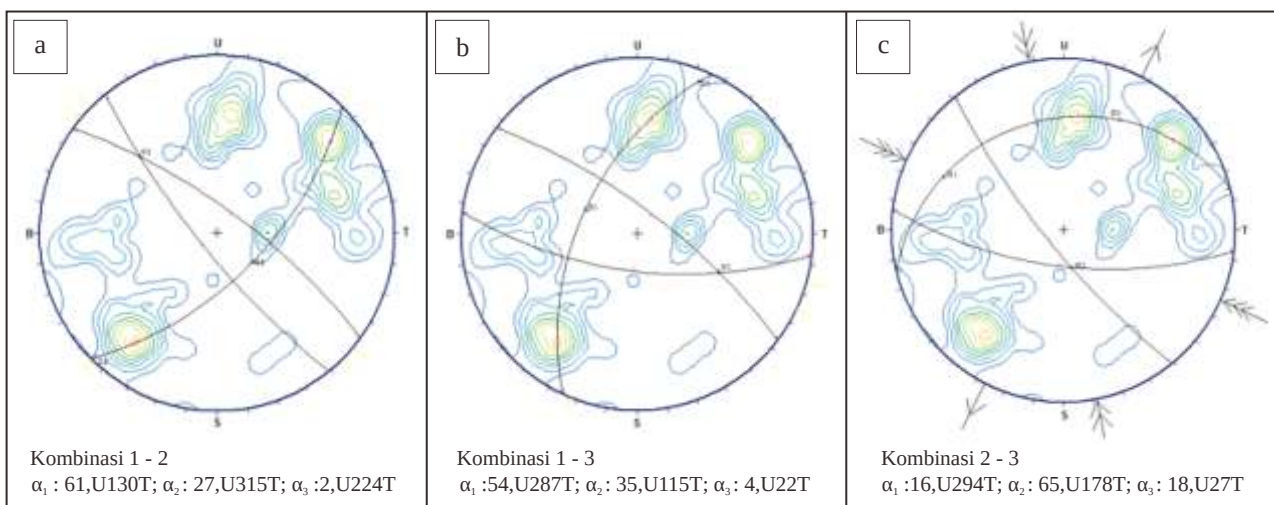
berarah baratlaut - tenggara yang menyebabkan terjadinya lipatan dan sesar naik dengan arah timurlaut - baratdaya, serta sesar mendatar mengangan berarah barat baratlaut - timur tenggara. Sementara itu, Witts drr., (2015) telah melakukan interpretasi data anomali Bouguer residual di Kalimantan bagian timur, yang menunjukkan adanya kelurusan berarah barat baratlaut - timur tenggara (Gambar 14). Kelurusan-kelurusan pada batuan alas tersebut terjadi pada Paleogen, namun diaktifkan kembali pada Miosen atau lebih muda, yang terkait dengan tumbukan Benua Australia dan Benua Eurasia. Bergman drr. (1996) berpendapat bahwa tumbukan ini mulai Miosen Tengah, dan mencapai puncaknya pada Mio-Pliosen, yang menyebabkan *thin skin tectonic* di Kalimantan bagian timur.

Menurut Witts drr. (2015) bahwa di selatan Sesar Adang - Paternoster, gaya tekan berasal dari tenggara dan ditahan oleh Pegunungan Schwaner, sehingga menghasilkan kompresi berarah baratlaut - tenggara. Adanya kompresi baratlaut - tenggara ini, kelurusan sesar yang berarah barat baratlaut - timur tenggara di selatan Sesar Adang - Paternoster (termasuk daerah penelitian) merupakan sesar mendatar mengangan (*dextral strike slip fault*). Berdasarkan sistem sesar mendatar mengangan sejajar ini, dalam model Riedel dalam McClay (1986), kelurusan sesar utara baratlaut - selatan tenggara termasuk Sesar P, yang merupakan sesar mendatar mengangan (Gambar 15). Hasil analisis regional ini sama dengan hasil analisis kekar DH43, yaitu kelurusan sesar utara baratlaut - selatan tenggara merupakan sesar mendatar mengangan.

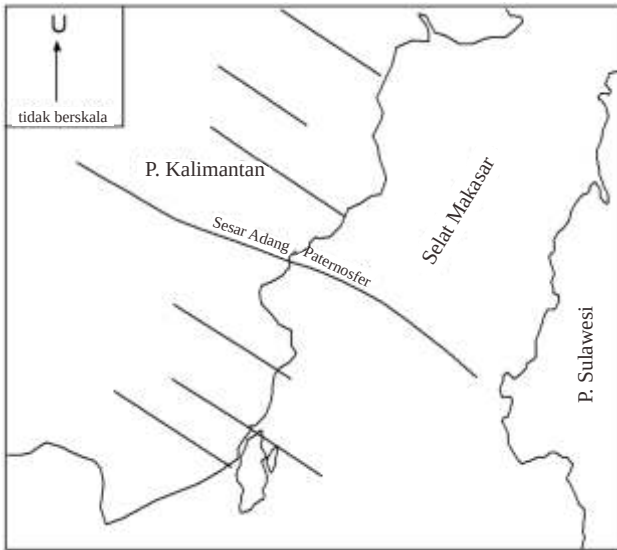
Sesar Balaiwan terdiri atas 2 segmen, dan merupakan sesar mendatar mengangan, yang dapat mengakibatkan terbentuknya sesar *pull apart*, yang mengontrol pemunculan Gunung api Balawaian.



Gambar 12. Kekar di lokasi ML13 di dalam diagram stereonet.



Gambar 13. Analisis gaya utama dengan data kekar di lokasi ML13. a) Kombinasi 1-2; b) Kombinasi 1-3; c) Kombinasi 2-3.



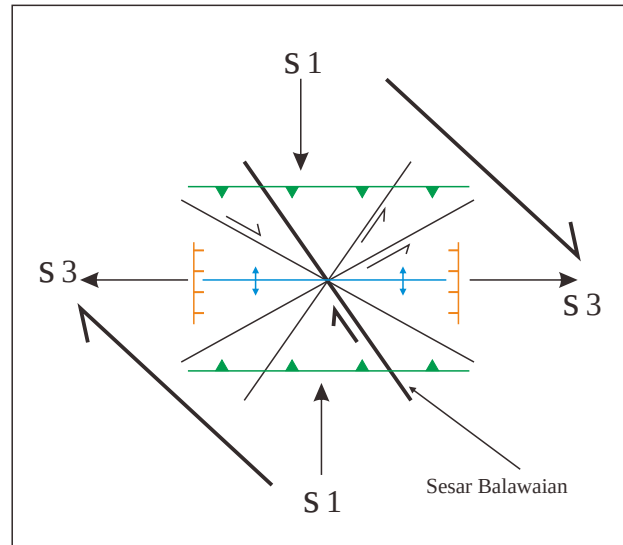
Sumber : Witts dr, (2015)

Gambar 14. Kelurusan batuan alas di Kalimantan Tenggara hasil penafsiran data Anomali Aero Bougeur.

Arifin dr. (2009) telah melakukan penelitian seismik di perairan sebelah selatan Pegunungan Meratus. Hasilnya menyebutkan bahwa pada pra-Kuarter terdapat sesar timurlaut - baratdaya, yang merupakan bagian Sesar mengiri Muria - Meratus. Namun sesar tersebut sekarang sudah tidak aktif, yang dicirikan oleh stuktur tersebut tidak memotong endapan Kuarter. Arah sesar ini relatif sejajar dengan arah Pegunungan Meratus, yang menunjukkan bahwa gaya kompresi pembentuk sesar tersebut dan pembentuk Pegunungan Meratus berbeda. Maka penamaan Sesar Muria - Meratus tidak tepat lagi.

DISKUSI

Menurut Bronto (2010) batuan gunung api purba dapat dikenali dengan berbagai cara, yaitu interpretasi indera jauh, morfologi, analisis peta geologi,

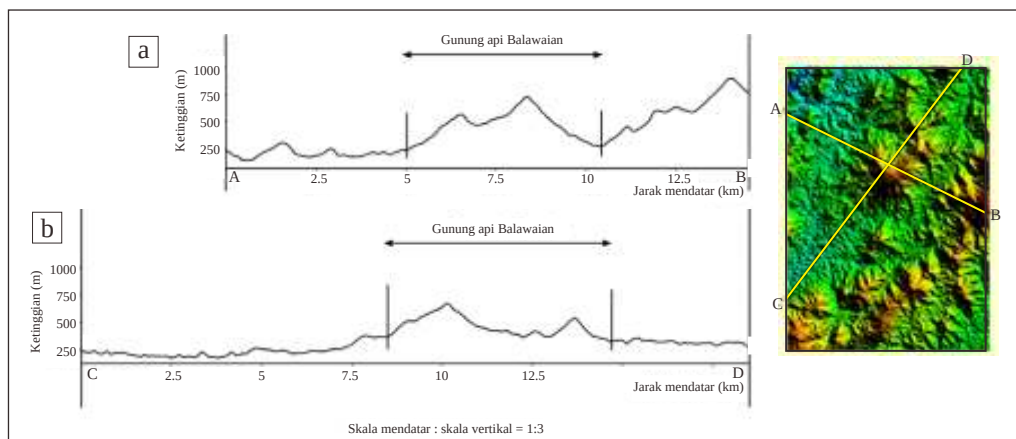


Gambar 15. Sesar Balawaian hubungannya dengan sesar barat baratlaut – timur tenggara.

stratigrafi dan litofasies gunung api, stratigrafi, petrologi dan geokimia, struktur geologi, analisis data pemboran, dan studi geofisika. Dalam hal ini, identifikasi Gunung api Purba Balawaian akan didasarkan atas penampakan pada citra radar, yang meliputi morfologi, batuan (petrologi dan geokimia) dan struktur geologi.

Pada citra DEM, gunung api ini menunjukkan morfologi kerucut terpancung, yang berdasarkan reliefnya merupakan pegunungan (Gambar 16). Lereng di bagian timur lebih terjal daripada bagian barat, sementara lereng utara dan selatan relatif simetri.

Pola aliran menunjukkan pola menyebar (*radial*), dengan lembah sungai utama dalam dan sempit yang menunjukkan erosi vertikal lebih intensif daripada erosi lateral.



Gambar 16. Penampang morfologi Gunung api Balawaian, a) penampang baratlaut-tenggara; b) penampang timurlaut-baratdaya.

Gunung Balawaian ditutupi oleh hutan alam sangat lebat, yang termasuk Taman Nasional Balawaian. Puncaknya berbentuk *elips* (punggungan melingkar), yang diduga sebagai tepi kawah (*crater rim*), sedangkan morfologi di dalam kawah membentuk cekungan (*basin*). Permukaan morfologi relatif halus dibandingkan di sekitarnya, diduga batuan penyusunnya seragam.

Tiga (3) sampel batuan di sekitar Gunung Balawaian terdiri atas SNY26, ML13, dan SNY 25. Hasil analisis petrografi sampel SNY26 bernama andesit piroksin, dan hasil analisis geokimia dalam diagram alkali total versus silika (Le Bas dr., 1986) menunjukkan trachyt - andesit, dalam diagram SiO_2 versus K_2O (Peccerillo dan Taylor, 1976) termasuk seri andesit kalk-alkalin. Berdasarkan komposisi kimia tersebut, batuan ini merupakan batuan busur gunung api (*volcanic arc*), yang berhubungan dengan penunjaman.

Sampel ML13, secara petrografi bernama andesit, dalam diagram alkali total versus silika (Le Bas dr., 1986) menunjukkan andesit, sedangkan dalam diagram SiO_2 versus K_2O (Peccerillo dan Taylor, 1976) termasuk seri andesit kalk alkali K tinggi. Moghazi (2003) telah meneliti batuan Gunung api Dokhan yang secara geokimia termasuk seri kalk alkali K tinggi. Dalam uraiannya menerangkan bahwa magma sumbernya adalah magma hasil penunjaman, dan terjadi pengkayaan unsur K akibat terkontaminasi oleh batuan sedimen yang diterobos, serta pemunculan ke permukaan melalui struktur bukaan. Batuan yang mengalasi daerah penelitian adalah granit Kapur Awal. Tekstur sampel ML13 lebih halus daripada sampel SNY26 menunjukkan posisi sampel 13 relatif di bagian tepi tubuh magma, sehingga kecenderungan batuan ini dipengaruhi dinding batuan yang diterobos. Maka pengkayaan unsur K dalam batuan ini diduga akibat terkontaminasi oleh batuan yang diterobos (granit).

Secara petrografi SNY25 merupakan basal amfibol, dan dalam klasifikasi Le Bas dr. (1986) termasuk basal, sedangkan dalam diagram Peccerillo dan Taylor (1976) menunjukkan *arc tholeiit series*, yang berhubungan dengan batuan busur kepulauan.

Secara stratigrafi batuan tetua di daerah penelitian adalah granit (Kapur Awal), dan secara tektonik, setelah penunjaman Kapur Awal adalah penunjaman Kapur Akhir. Oleh karena itu sampel-sampel batuan ini mungkin berhubungan dengan penunjaman Kapur Akhir. Menurut Hartono dr. (2009) penunjaman Kapur Akhir menghasilkan batuan busur gunung api Formasi

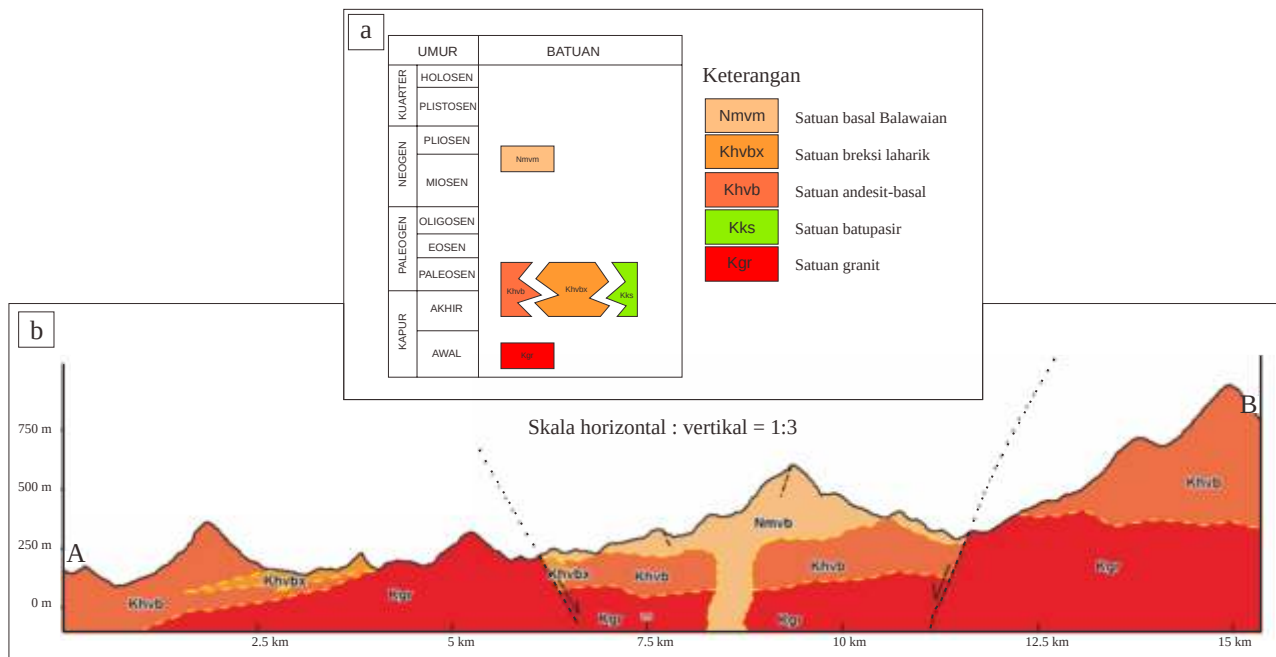
Haruyan. Ke dua sampel (ML13 dan SNY26) diduga merupakan bagian dari satuan andesit-basal Formasi Haruyan. Formasi Haruyan sendiri disusun oleh batuan gunung api bawah laut. Formasi ini sebarannya sangat luas, dan diduga gunung apinya juga banyak. Namun bentukan gunung api-gunung api ini sudah tidak dapat dikenali lagi, karena telah mengalami beberapa deformasi.

Batuan sampel SNY25 merupakan basal amfibol dan magma sumbernya adalah *arc tholeiite series*. Hal ini menunjukkan penampakan berbeda dengan sampel SNY26 dan ML13. Di Pegunungan Meratus, andesit amfibol merupakan batuan terobosan atau *subvolcanic* berumur Miosen Tengah (Hartono dr., 2009), kemudian Hartono (2012) mengelompokkan batuan tersebut menjadi satuan gunung api Miosen Tengah - Pliosen. Menurut Hartono dr., (2009) magma sumber batuan ini adalah magma hasil penunjaman Kapur Akhir terjebak di bawah selubung, yang mengakibatkan magma bersifat toleiiit, dan batuan yang dihasilkan mempunyai kandungan magnesium tinggi ($\text{MgO} = 3 - 4$ % berat). Maka basal amfibol ini dapat dibandingkan batuan terobosan atau batuan *subvolcanic*, yang dicirikan oleh magma asal bersifat toleiiit, dan mempunyai kandungan magnesium tinggi ($\text{MgO} = 4,49$ % berat, Tabel 2).

Berdasarkan uraian di atas, dapat dibuat korelasi antar satuan (Gambar 15a) dan pembuatan penampang geologi AB (Gambar 15b) untuk melengkapi peta geologi indera jauh (Gambar 3).

Matheu dr. (2011) telah mengadakan percobaan di laboratorium dan mempratekkan teorinya bahwa Gunung api Modena muncul sejajar jurus sesar manganan, terutama di sepanjang zona sesar yang bersifat membuka.

Pada peta geologi indera jauh (lihat Gambar 3), di sekitar Gunung Balawaian terdapat sesar berarah utara baratlaut -selatan tenggara dan disebut sebagai Sesar Balawaian. Hasil analisis kekar di lokasi 43 menunjukkan bahwa sesar ini merupakan *dextral wrench fault* (klasifikasi Anderson, 1951), sedangkan dalam klasifikasi Rickard (1972) termasuk *reverse dextral slip fault*, yang sesuai dengan analisis makro (analisis kelurusan) yang menunjukkan sebagai sesar P dalam model Riedel (Gambar 13), dan tektonik kompresi baratlaut - tenggara pada Pliosen (Yusuf dr., 2015) menyebabkan sesar barat baratlaut - timur tenggara sebagai sesar mendatar manganan.



Gambar 15. a) Korelasi antar satuan , dan b) Penampang AB ; yang melengkapi Peta Geologi Inderaan jauh (lihat Gambar 3).

Sesar Belawaian ini terdiri atas dua segmen, dan menyebabkan terbentuknya cekungan *pull apart*, yang bersifat membuka. Jadi seperti halnya Gunung api Modena, pemunculan Gunung api Purba Balawaian di permukaan juga dipengaruhi oleh zona bukaan yang terjadi di sepanjang sesar, yaitu cekungan *pull apart* dari Sesar Belawaian.

Hasil analisis kekar di lokasi ML13 terdapat gaya kompresi vertikal. Gaya ini berkaitan dengan adanya sesar normal atau *colape* nya tubuh gunung api. Pada citra di lokasi tersebut tidak dijumpai adanya kelurusan sesar, maka kompresi vertikal ini diduga berkaitan dengan pemunculan Gunung api purba Balawaian ini, yang disertai colapenya tubuh gunung api, dan umurnya lebih muda dari Kapur Akhir – Paleosen.

Sesuai dengan tektonik regional, pembentukan struktur ini diperkirakan Miosen Tengah atau Mio-Pliosen, sehingga umur batuan gunung api paling tidak Miosen Tengah atau Mio-Pliosen.

KESIMPULAN

Pada citra radar, Gunung api Balawaian menunjukkan morfologi kerucut terpancung. Gunung api Balawaian merupakan gunung api *subvolcanic* yang menerobos Satuan Granit Kapur Awal dan Satuan Andesit-Basal Kapur Akhir - Paleosen Akhir. Batuan gunung api ini diduga berumur Miosen Tengah atau Mio-Pliosen (Neogen). Batuan gunung api ini tersusun oleh andesit, andesit piroksin dan basal amfibol, yang berasosiasi dengan magma basal toleiiit, yang diduga merupakan magma hasil penunjaman Kapur Akhir dan terjebak di bawah mantel, serta pemunculannya dikontrol oleh cekungan *pull apart* dari Sesar Balawaian.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Kepala Pusat Survei Geologi yang telah mengizinkan menggunakan data indera jauh dan memberikan kesempatan melakukan pemetaan geologi skala 1:50.000 di Lembar Kandungan. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada rekan-rekan tim pemetaan yang telah membantu pekerjaan di lapangan.

ACUAN

- Amiruddin dan Trail, D.S., 1993. *Geologi Lembar Nangapinoh*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung, 49 hal.
- Anderson, E.M., 1951, *The Dynamics of Faulting and Dyke Formation With Applications to Britain*. Oliver and Boyd Ltd.; 206 hal.
- Arifin, L., Luga, I.W., dan Raharjo, P., 2009. Zona Sesar Di Perarian Kalimantan Selatan (LP1611). *Jurnal Geologi Kelautan*, 7 (1): 11-21.
- Bergman, S.C., Coffield, D.Q., Talbot, J.P. dan Garrard, R.A, 1996, Tertiary Tectonic and magmatic evolution of western Sulawesi and the Makassar Strait, Indonesia; evidence for Miocene continent-continent collision. in Tectonic Evolution of Southeast Asia, *Geological Society Special Publication*, 106: 391-429.
- Bronto, S., 2010. *Geologi Gunung api Purba*. Badan Geologi, Bandung, 154 hal.
- Davis, L., Hall, R., Armstrong, R., 2014. Cretaceous crust in SW Borneo: Petrological, geochemical and geochronological constrains from the Schwaner Mountain, *Proc. Ann. Conv. 38th IPA*, Jakarta.
- Hall, R., 2009. Indonesia, Geology. In Gillispie, G. and Clague, D., *Encyclopedia of Island*, University of California Press, 454-460.
- Hartono, U., Sukanto, R., Surono, Panggabean, H., 2009. Evolusi Magmatik Kalimantan Selatan. *Publikasi Khusus Pusat Survei Geologi*. 140 hal.
- Hartono, 2012. Magmatism in Kalimantan. *Publikasi Khusus Pusat Survei Geologi*. 199 hal.
- Haryanto, R., dan Sanyoto, P., 1994. *Peta Geologi Lembar Amuntai, Kalimantan Selatan, skala 1:250.000*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.
- Haryanto, R., 2000. Pengendapan batuan sedimen Kelompok Pitap di bagian selatan Pegunungan Meratus. *Jurnal Geologi dan Sumber Daya Geologi*, 14(3): 78-93.
- Le Bas, M.J., Le Maitre, R.W., Streckeisen, A., Zanettin, B., 1986. A chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali-silica diagram. *Journal Petrology*, 27: 745-750.
- Mathieu, L., van Wyk de Vries, B., Pilato, M., dan Troll, V.R., 2011. The interaction between volcanoes and strike-slip, transtensional and transpressional fault zones: Analogue model and natural examples. *Journal of Structural Geology*, doi:10.1016/j.jsg.2011.03.003, hal. 1-9.
- McClay, K., 1986. *The Mapping of Geological Structures*, John Wiley & Sons, Inc., New York. 161 hal.
- Moghazi, A.M., 2003. Geochemistry and petrogenesis of a high-K calc-alkaline Dohan Volcanic suite, Sout Safaga area, Egypt: the role of late Neoproterozoic crustal extention. *PreCambrian Research*, 125: 161-178.
- Novita, D., 2015. Stratigrafi Formasi Karamaian di Desa Mawangi, Kandangan, Kalimantan Selatan. Laporan tidak terbit.
- Peccerillo, A. And Taylor, S.R., 1976. Geochemistry of Eocene Calc-Alkaline Volcanic Rocks from the Kastamone Area, Northern Turkey. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 58: 63-81.
- Rickard, M.J., 1972. Fault Classification: discussion. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 83: 2545-2546.
- Rohadi, S. dan Masturyono, 2015. Lineasi Patahan Geologi Berdasarkan Distribusi Hiposenter Relokasi di Wilayah Jawa. *Jurnal Meteorologi dan Geofisika*, 16 (3).
- Sikumbang, N., dan Heryanto, R., 1994. *Peta Geologi Lembar Banjarmasin, Kalimantan Selatan, skala 1:250.000*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.
- Sun, S.S. and McDonough, W.F., 1989. Chemical and isotopic systematic of oceanic basalt; implications for mantle composition and processes. In : *Magmatism in the ocean basins*. Saunders, A.D. and Norry, M.J. (ed) Geological Society of London, London. 42:313-345.
- Witts, D., Davies, L., Morley, R.J., Andeson, L., 2015. Neogene Deformation of East Kalimantan; A Regional Perspective. *Proc. Ann. Conv. and Exh. 36th IPA*, Jakarta.
- Yusuf, A.S., Ismawan, dan Helmi, F., 2015. Evolusi Tektonik Berdasarkan Analisis Data Kekar Daerah Binuang dan sekitarnya, Kecamatan Binuang, Kabupaten Tapin, Provinsi Kalimantan Selatan. *Bulletin of Scientific Contribution*, 12(3): 155-162.
- Zahirovic, S., Seton, M., dan Muller, R.D., 2014. The Cretaceous and Cenozoic tectonic evolution of Southeast Asia. *Solid Earth*, 5: 227-273.