

Ciri Geokimia Batuan Vulkaniklastika di daerah Tanjung Balit, Sumatra Barat: Suatu Indikasi Kegiatan Magma pada Eosen

B.H. HARAHAP

Pusat Survei Geologi, Badan Geologi, Jln. Diponegoro 57, Bandung 40122

SARI

Batuan vulkaniklastika yang tersingkap di daerah Tanjung Balit, Sumatra Barat, berwarna merah gelap, gembur, lunak, dan pecah-pecah, terubah kuat menjadi lempung dengan kandungan kalsium (CaO) dan natrium (Na₂O) sangat rendah (masing-masing 0,02 dan maksimum 0,36% berat). Batuan ini mempunyai komponen volatil hilang dibakar cukup tinggi, yaitu 4-15% berat. Unsur *minor mobile* seperti strontium (Sr), rubidium (Rb), dan lantanum (La) ikut juga terubah, sehingga kandungannya tidak masuk dalam rentang kelompok batuan vulkanik segar. Hasil analisis geokimia menunjukkan kandungan silika (SiO₂) berkisar 58 – 68% berat, alumina (Al₂O₃) 15,90 – 21,46% berat, magnesium (MgO) 1,36 – 1,61% berat, oksida besi (Fe₂O₃) 4,8 - 6,9% berat, potasium (K₂O) 2,73 - 4,23% berat, dan titanium (TiO₂) 0,60 - 0,70% berat. Kandungan unsur-unsur ini, secara umum, terutama yang *immobile* (Ti, Mg, dan Fe) menunjukkan bahwa batuan tersebut berasal dari aktivitas magma, yang juga diperkuat dengan ciri petrografinya yang masih memperlihatkan relik mineral felspar dan kuarsa. Berdasarkan diagram SiO₂ terhadap K₂O, batuan ini diklasifikasikan sebagai seri kalk-alkalin K-tinggi dan termasuk batuan berkomposisi intermedier. Kriteria kandungan-kandungan seperti di atas, yaitu alumina tinggi, magnesium sangat rendah, dan titanium kurang dari 1% berat merupakan petunjuk bahwa batuan ini sebagai produk magma busur. Sementara unsur-unsur minor yang dirajah dalam diagram laba-laba memperlihatkan pola grafik yang juga menyerupai batuan yang terjadi pada magma busur, yaitu berupa pengayaan LILE (*Large Ion Lithophile Elements*) dan LREE (*Light Rare Earth Elements*) relatif terhadap HFSE (*High Field Strength Elements*) dan HREE (*heavy REE*). Pola unsur jejak dan REE-nya menunjukkan bahwa mereka berasal dari sumber magma kalk-alkalin K-tinggi.

Kata kunci: batuan vulkaniklastika, kalk-alkali, petrografi, magma busur, Tanjung Balit

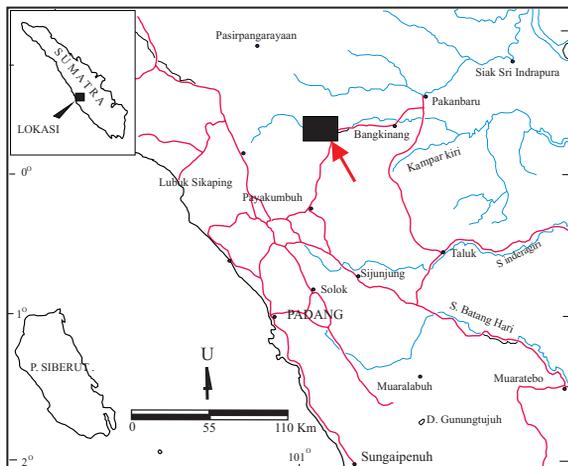
ABSTRACT

Volcaniclastic rocks exposed in the Tanjung Balit area, West Sumatra, are red in color, loose, soft, and fractured. The rocks are strongly altered to be clay with calcium (CaO) and natrium (Na₂O) contents extremely low (0.02 and maximum 0.30wt% respectively), and high loss of ignition (LOI) (4-15wt%). Mobile minor elements such as strontium (Sr), rubidium (Rb), and lanthanum (La) are also changed as their values do not fit to a normal contents range of fresh volcanic rocks in general. Geochemical analyses of the rocks resulted in the following oxide values: silica (SiO₂) ranges from 58 – 68wt%, alumina (Al₂O₃) 15,90 – 21,46wt%, magnesium (MgO) 1,36 – 1,61wt%, iron oxides (Fe₂O₃) 4,8-6,9wt%, potassium (K₂O) 2,73 - 4,23wt% and titanium (TiO₂) 0,60 - 0,70wt%. In general, the element contents especially the immobile ones (Ti, Mg and Fe) show that the rocks were originated from magmatic activity, which is also supported by petrographical characteristics that are still showing felspar and quartz minerals relicts. Based on SiO₂ versus K₂O diagram, these rocks are classified as high K-calc-alkaline series and belong to an intermediate composition. The rocks of the above criteria such as high alumina, very low magnesium and less than 1% titanium are one of the evidences that they are a magmatic arc product. The trace element of the rocks is summarized on the spider diagram; here their patterns strongly resemble to the typical of magmatic arc as well with enrichment in large ion lithophile elements (LILE) and light rare earth elements (LREE) relative to high field strength elements (HFSE) and heavy REE (HREE). Trace element pattern and REE suggest they were originated from a high K- calc-alkaline magma source.

Keywords: *volcaniclastics, calc-alkali, petrography, arc magma, Tanjung Balit*

PENDAHULUAN

Jalan raya baru antara Pangkalan Kota Baru dan Bangkinang (Gambar 1) yang menggantikan jalan raya lama akibat tenggelam oleh Bendungan Kampar telah menyingkapkan batuan berwarna merah (nama setempat “batu merah”) yang belum pernah dilaporkan oleh peneliti terdahulu. Tebing sepanjang 2 km dan selebar puluhan meter tempat singkapan ini berada, sangat menyolok mata di antara singkapan lainnya karena warnanya merah (Gambar 2, 3, dan 4). Di lapangan, tim penelitian Kelompok Program



Gambar 1. Lokasi penelitian ditunjukkan dengan tanda panah.



Gambar 2. Batuan vulkaniklastik berwarna merah di Tanjung Balit. Jejak lapisan pada singkapan ini merupakan perselingan antara vulkaniklastika berbutir sangat halus (warna merah keputih-putuhan) dan halus (warna merah).



Gambar 3. Struktur kekar dalam batuan vulkaniklastika berwarna merah. Arah kekar tegak lurus terhadap arah umum lapisan batuan.



Gambar 4. Kontak sesar naik antara batuan malihan (Formasi Kuantan) berwarna abu gelap (kiri bagian atas) dan batuan vulkaniklastika berwarna merah (kanan bagian bawah). Lebar singkapan ± 15 m.

Magmatisme Pusat Survei Geologi (PSG) mengalami kesulitan dalam mengidentifikasi batuan ini karena intensifnya ubahan dan lapukan, sehingga dicapai kesepakatan bahwa batuan tersebut dinamakan sebagai batulumpur merah (*red mudstone*). Masalah utama apakah batuan tersebut batuan beku atau batuan sedimen, dan bagaimana dengan umur. Adapun penyebab warna merah pada batuan tersebut tidak termasuk dalam pembahasan utama pada makalah ini. Untuk menjelaskan permasalahan di atas telah dianalisis sebanyak empat percontoh batuan dari sepuluh percontoh yang diambil di lapangan. Perontoh-perontoh tersebut berasal dari daerah Tanjung Balit

yang terletak pada koordinat 00° 09' 212" LS dan 100° 46' 417" BT untuk percontoh 06BH56A, 00° 09' 123"LS dan 100° 46' 312" BT untuk percontoh 06BH57A, 00° 09' 152" LS dan 100° 46' 175" BT untuk percontoh 06BH59A, dengan elevasi 115 - 129 m dpl. (Gambar 1). Sementara lokasi untuk percontoh 06BH58A terletak di pertengahan antara lokasi percontoh 06BH57 dan 06BH59 yang keduanya berjarak kurang lebih 600 m.

Beberapa klasifikasi batuan berdasarkan unsur utama akan dilakukan. Salah satu syarat untuk suatu interpretasi petrologi, khususnya petrotektonik dari suatu batuan yang sangat berubah dan lapuk, diperlukan unsur-unsur yang sangat *incompatible* seperti titanium (TiO_2) dan unsur langka (*Rare Earth Element, REE*). Adapun unsur lain yang *mobile* dianggap sebagai suatu studi / kajian, bagaimana sebenarnya tindak-tanduk unsur tadi dalam batuan berubah dan lapuk. Untuk percontoh batuan berwarna merah di daerah Tanjung Balit, perubahan unsur yang paling mencolok dan tidak masuk dalam kategori kandungan unsur normal sebagaimana dalam batuan vulkanik segar di antaranya kalsium (CaO) dan natrium (Na_2O) yang merupakan unsur utama dalam felspar. Petrografi batuan ini menunjukkan bahwa felspar telah berubah seluruhnya menjadi lempung dan serisit, mineral mafik menjadi klorit dan oksida besi, massa dasar menjadi oksida besi,

dll. Unsur HD (hilang dibakar) atau *LOI (lost of ignition)* sangat menonjol karena banyak mineral lempung, sehingga memberikan kontribusi yang signifikan, yaitu mencapai 15% berat.

Ketiadaan batuan segar di lapangan memaksa seorang petrologis ekstra hati-hati dalam hal memilah unsur-unsur yang dipakainya untuk suatu interpretasi karena akan terjadi penambahan atau pengurangan unsur terutama yang *mobile*. Salah satu yang akan dipakai untuk mengatasi masalah perubahan ini adalah menjadikan unsur utama dikalkulasikan menjadi 100% bebas volatil.

Penelitian ini didanai oleh Anggaran Pendapatan Belanja Negara tahun 2006 Pusat Survei Geologi, Badan Geologi, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral.

METODOLOGI

Pemercontohan dilakukan dalam rangka penelitian magmatisme zona Bukit Barisan segmen Sumatra Barat. Sebanyak sepuluh percontoh telah dikoleksi di lapangan dan sebanyak empat percontoh terpilih telah dikirim ke Laboratorium PSG untuk petrografi dan geokimia unsur utama dan minor. Hasil analisis geokimia unsur utama dan minor terlihat pada Tabel 1, 2, dan 3. Determinasi petrografi dilakukan dengan

Tabel 1. Analisis Geokimia Unsur utama Batuan Vulkaniklastika merah dari Tanjung Balit dan Sedimen merah Kelompok Sasayama (% berat)

Unsur Utama	06BH56A	06BH57A	06BH59A	06BH58A	Batulanau Sasayama	Serpih Sasayama	Batupasir Sasayama
SiO ₂	58,34	58,83	66,00	68,14	58,36	60,35	65,88
TiO ₂	0,70	0,60	0,68	0,67	0,73	0,89	0,57
Al ₂ O ₃	21,46	15,91	17,91	16,66	13,1	10,66	13,45
Fe ₂ O ₃	6,90	4,80	5,81	5,24	7,88	5,55	4,74
MnO	0,01	0,02	0,02	0,02	0,12	0,11	0,08
CaO	0,01	0,02	0,02	0,02	3,21	4,95	3,54
MgO	1,36	1,59	1,41	1,61	6,56	6,74	1,78
Na ₂ O	0,36	0,28	0,35	0,24	2,18	2,02	2,19
K ₂ O	4,23	2,93	3,67	2,73	1,85	1,26	2,15
P ₂ O ₅	0,06	0,06	0,05	0,08	0,11	0,13	0,11
LOI	6,42	14,82	3,90	4,48	6,36	7,85	5,53
Total	99,85	99,86	99,82	99,88	100,46	100,51	100,02

Tabel 2. Analisis Unsur Jejak (*trace element*) empat Percontoh Batuan Vulkaniklastika berwarna merah dari Tanjung Balit dan tiga Percontoh Sedimen merah dari Kelompok Sasayama (satuan dalam ppm)

Unsur jejak	06BH56A	06BH57A	06BH59A	06BH58A	Batulanau Sasayama	Serpil Sasayama	Batupasir Sasayama
Sc	8,95	11,83	7,10	9,07	17,00	15,00	10,00
Rb	286,19	344,51	323,59	190,52	70,00	47,00	89,00
Ba	174,41	493,88	529,01	144,76	414,00	232,00	567,00
Nb	1,37	5,35	2,94	4,72	10,00	12,00	13,00
La	101,61	39,79	42,58	34,50	26,10	30,10	31,80
Ce	114,10	87,64	94,57	76,48	51,80	61,90	63,90
Sr	10,90	13,68	10,14	6,34	158,00	143,00	296,00
Nd	42,31	31,91	34,81	28,59	22,50	27,30	25,40
P	288,00	314,00	240,00	367,00			
Zr	5,01	13,01	4,60	17,25	166,00	262,00	177,00
Sm	8,30	5,77	6,91	5,56			
Dy	3,02	3,64	2,83	2,87	4,11	5,50	4,05
Y	9,51	19,56	10,08	22,22	23,00	33,00	22,00
Er	1,02	1,75	1,01	1,22	2,50	3,32	2,37
Yb	0,81	1,44	0,75	0,98	2,20	2,88	2,18
Ni	34,00	30,00	15,00	20,00	288,00	226,00	47,00
Th	14,91	14,71	15,76	14,13	8,42	8,73	13,40
U	1,45	1,75	1,58	1,47	1,81	1,83	2,56
V	283,60	276,30	268,70	258,10	110,00	74,00	64,00
K	37608,00	28641,00	31797,00	23744,00			
Ti	4478,00	4196,00	4256,00	4155,00			

Tabel 3. Hasil Analisis Unsur REE Batuan Vulkaniklastika merah Daerah Tanjung Balit dan Sedimen merah Kelompok Sasayama (satuan dalam ppm)

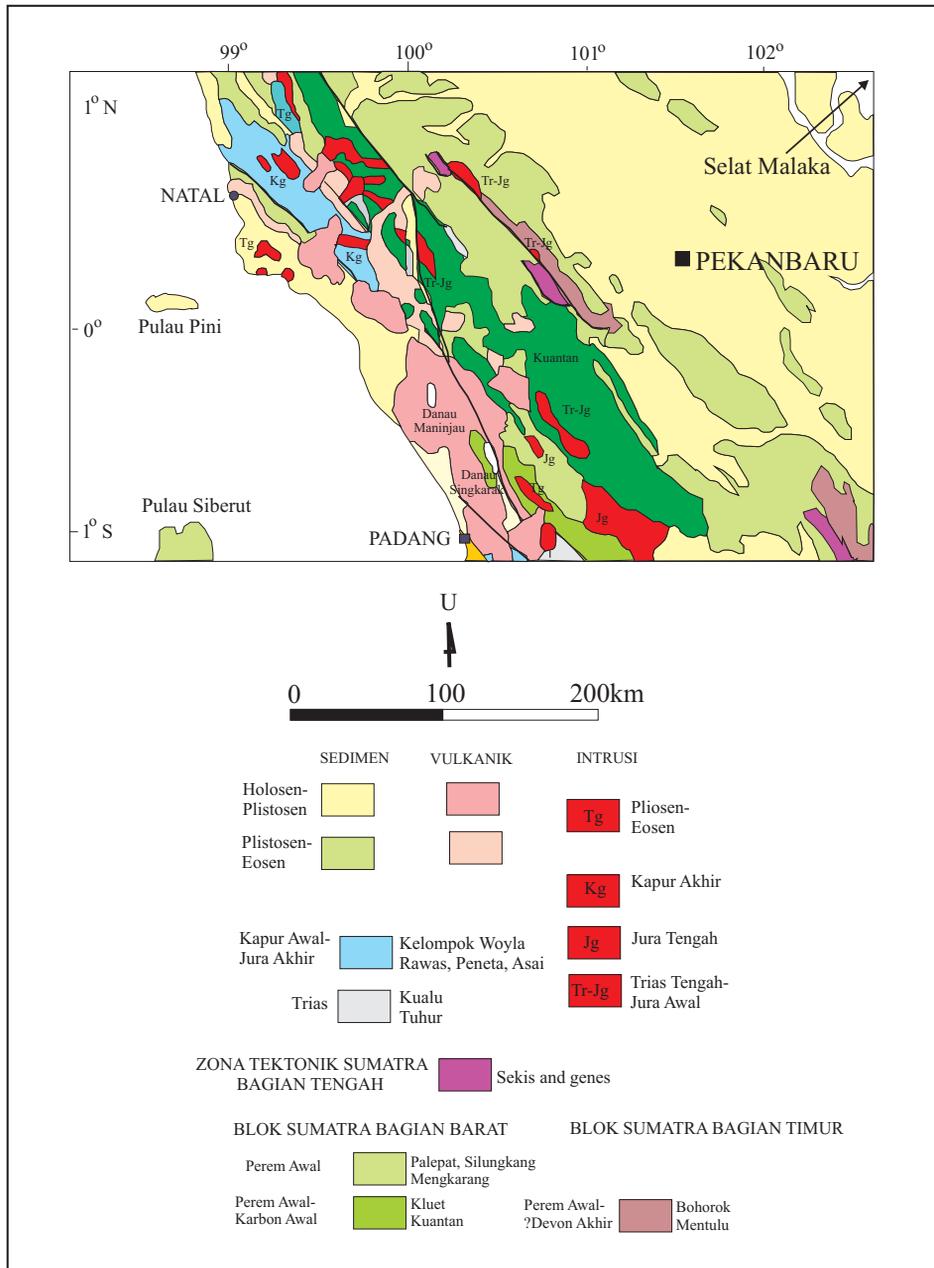
Unsur REE	06BH56A	06BH57A	06BH59A	06BH58A	Batulanau Sasayama	Serpil Sasayama	Batupasir Sasayama
La	101,61	39,79	42,58	34,50	26,1	30,1	31,8
Ce	114,10	87,64	94,57	76,48	51,8	61,9	63,9
Pr	12,27	9,17	9,73	8,07	5,72	6,73	6,73
Nd	42,31	31,91	34,81	28,59	22,5	27,3	25,4
Sm	8,30	5,77	6,91	5,56	4,85	5,9	5,17
Eu	0,88	0,67	0,80	0,60	1,05	1,31	1,04
Gd	5,96	4,42	4,99	4,12	4,07	5,26	4,09
Dy	3,02	3,64	2,83	2,87	4,11	5,50	4,05
Ho	0,45	0,70	0,45	0,52	0,83	1,3	0,8
Er	1,02	1,75	1,01	1,22	2,50	3,32	2,37
Tb	0,71	0,64	0,62	0,55	0,73	0,98	0,72
Yb	0,81	1,44	0,75	0,98	2,20	2,88	2,18

menggunakan mikroskop polarisasi, dan pengambilan foto sayatan dengan kamera digital. Analisis unsur utama dilakukan dengan menggunakan alat XRF (*X-ray Fluorescence Spectrometer Automatic, Phillips PW 1480*). Unsur jejak dan langka dianalisis dengan menggunakan *ELA-ICP-MS (Excimer Laser Ablation Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometer)*. Dalam penelitian ini digunakan peta

topografi skala 1:50 000 sebagai peta lintasan. Koordinat lokasi singkapan diukur dengan GPS.

GEOLOGI REGIONAL

Geologi regional daerah Sumatra bagian tengah disajikan pada Gambar 5. Batuan alas Pratersier



Gambar 5. Peta geologi regional Sumatra bagian tengah (sumber dari Crow dan Barber, 2005).

yang tersingkap sepanjang punggung tengah Pegunungan Barisan memanjang (500 km) searah dengan sumbu panjang pulau ini. Batuan alas ini ditindih oleh batuan sedimen dan gunung api berumur Tersier sampai Resen di bagian barat daya dan timurlaut, termasuk batuan produk aktivitas vulkanik sekarang yang mengikuti *trend* barat-laut-tenggara Bukit Barisan sepanjang pulau ini. Batuan tertua di daerah ini adalah Formasi Kuantan, dan Formasi Bahorok Kelompok Tapanuli yang berumur Perem-Karbon (Silitonga dan Kastowo, 1995; Clarke dr., 1982a,b). Formasi Kuantan terdiri atas sedimen meta (perselingan serpih, lanau, batupasir kuarsa) dan batuan malihan (filit, sekis, kuarsit, dan pualam). Anggota Tanjungpauh terdiri atas filit dan sekis. Formasi Bahorok terdiri atas batupasir (*wackes*), batupasir konglomerat, dan turbidit. Kelompok Tapanuli ini secara tidak selaras ditindih oleh Kelompok Peusangan yang terdiri atas dua formasi, yaitu Formasi Silungkang dan Formasi Telukkido (Cameron dr., 1980). Formasi Silungkang terdiri atas batugamping, vulkanik-meta basa, tuf meta, dan batupasir vulkaniklastika (Fontaine dan Gafoer, 1989). Formasi Telukkido terdiri atas *pyritic feldspathic metaquartzose arenites* dan argilit dengan lapisan batubara dan sisa tumbuhan (Rock dr., 1983). Kedua kelompok ini berkontak sesar dengan Kelompok Woyla dan diintrusi oleh Granitoid Paleozoikum-Mesozoikum. Kelompok Woyla di daerah ini terbentuk sebagai himpunan samudra (*oceanic assemblage*) yang terdiri atas serpentinit, gabro amfibolit, basal bantal (*pillow basalt*), hyaloklastit, rijang, dan sedimen laut dalam, yang diinterpretasikan sebagai segmen imbrikasi dasar samudra dan mantel yang membawahnya (Cameron dr., 1980; Rock dr., 1983; Kastowo dr., 1978). Ketiga kelompok dan granitoid ini secara tidak selaras ditindih oleh batuan sedimen dan diintrusi oleh granit dan granodiorit berumur Tersier.

Episode Vulkanik Eosen

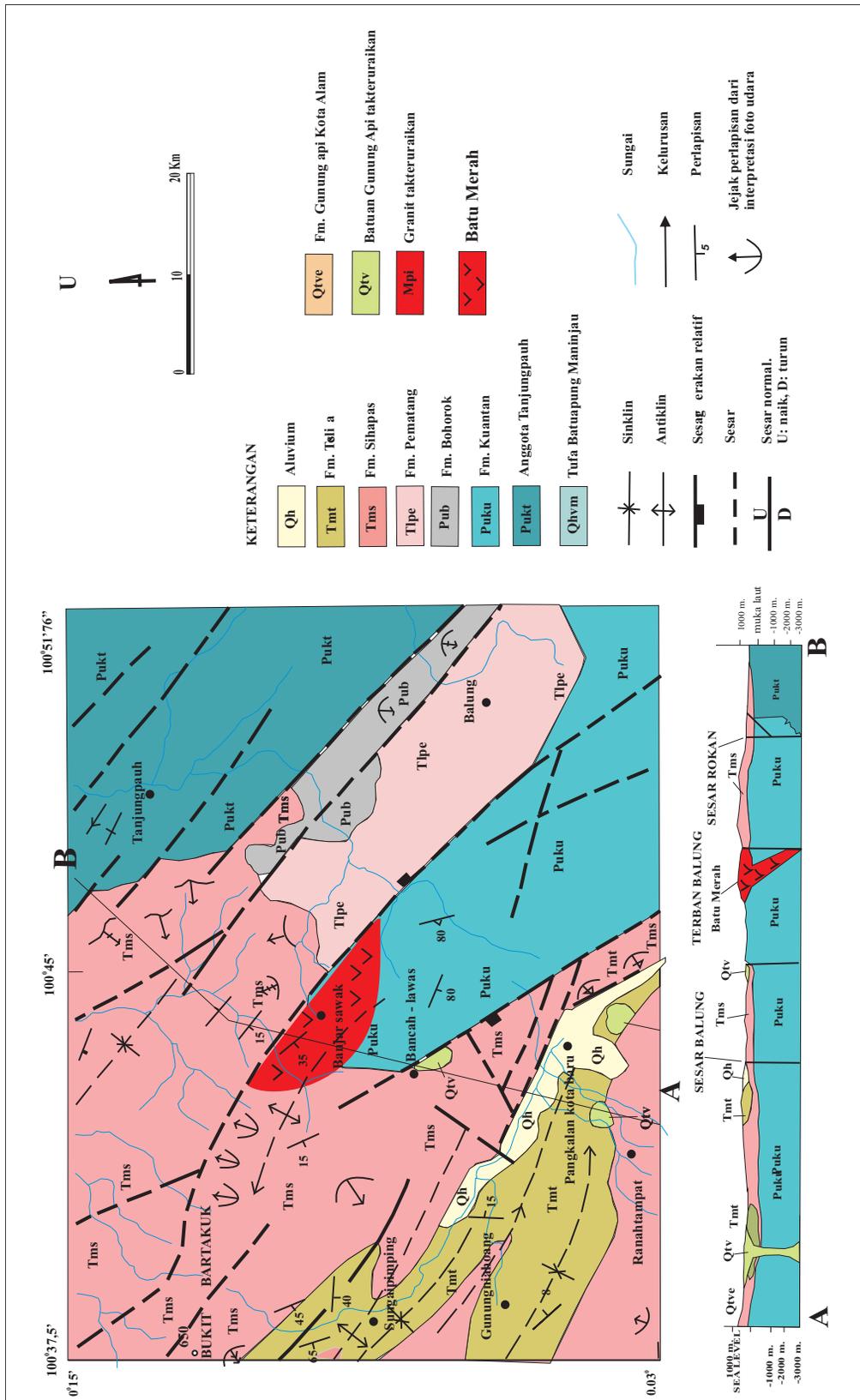
Episode batuan vulkanik berumur Eosen tersebar sepanjang pantai barat Sumatra (Crow, 2005). Umur mutlak batuan vulkanik ini berdasarkan penarikan radiometri adalah 46 - 40 jtl. (Bellon dr., 2004, dalam Crow, 2005). Produk vulkanik ini terdiri atas tujuh unit, yaitu Formasi Kieme, Formasi Semelit dan Meucapili yang tersebar di ujung barat laut Sumatra (Nangro Aceh Darussalam) (Cameron

dr., 1983); Formasi Vulkanik Breuh di Pulau Breuh (Bennet dr., 1981); Formasi Sitaban di lepas pantai Teluk Tapanuli (Aspden dr., 1982); Formasi Sibolga di daerah Sibolga Tapanuli Tengah (Aspden dr., 1982), dan Formasi Turbidit Sikumbu di daerah Natal (Rock dr., 1983 dan Wajzer dr., 1991, dalam Crow, 2005). Pemerian batuan vulkanik berikut ini hanya berdasarkan pengamatan megaskopik di lapangan, sedangkan analisis geokimia belum tersedia. Formasi Kieme terdiri atas batupasir arkos, batulumpur kerakalan (*pebbly mudstone*) dan karbonan, batupasir (*wackes*) vulkanik, breksi konglomerat, batupasir, dan andesit terpropilitisasi. Formasi Semelit tersusun atas batupasir arkos, batulumpur kerakalan dan karbonan, batupasir vulkanik, breksi konglomerat, batupasir, dan andesit terpropilitisasi. Formasi Meucapili berupa vulkanikwake intermedier sampai mafik dalam batulanau dan batulumpur. Formasi Vulkanik Breueh terdiri atas lapisan-lapisan piroklastika dan lava basalan. Formasi Sitaban tersusun atas andesit porpiritik dan mikrodiorit subvulkanik. Selanjutnya Formasi Sibolga terdiri atas andesit amigdal berselang-seling dengan sedimen paralik-fluviatil, sedangkan Formasi Sikumbu tersusun atas vulkaniklastika berupa endapan turbidit aliran debri, proksimal, dan distal.

Andesit yang teralterasi terjadi dalam Formasi Kieme dan Semelit di Lembar Takengon (Cameron dr., 1983). Cameron dr. (1980) menginterpretasi Formasi Kieme dan Semelit sebagai sekuen busur dan cekungan busur-belakang yang berkaitan dengan patahan. Crow (2005) memperkirakan bahwa Formasi Sitaban di lepas pantai Teluk Tapanuli juga termasuk dalam fase ini.

Geologi Daerah Tanjung Balit

Tanjung Balit termasuk dalam lembar peta geologi Pekanbaru (Clarke dr., 1982a,b) (Gambar 6). Batuan tertua di daerah ini adalah batuan sedimen berumur Perem yang diwakili oleh Formasi Kuantan dan Formasi Bahorok dari Kelompok Tapanuli yang diterobos oleh batuan granit berumur Trias (Granit Giti) (tidak masuk dalam Gambar 6). Formasi Kuantan sebagian besar berupa batuan malihan (sekis, sabak, dan kuarsit) dan selebihnya adalah batuan sedimen klastika halus. Abidin (2008) melaporkan adanya alterasi hidrothermal dengan cebakan logam dasar Pb-Zn-Ag dalam Formasi Kuantan di daerah ini. Formasi Kuantan secara tidak selaras ditindih



Gambar 3 : Peta geologi daerah Tanjung Balit (modifikasi dari Clark drr., 1982a). Satuan batu merah hanya sebagai ilustrasi dan bukan luas sebenarnya, karena belum dipetakan secara detail.

oleh batuan Tersier yang terdiri atas Konglomerat Brani berumur Eosen-Oligosen (tidak masuk dalam Gambar 6) dan Formasi Pematang berumur Oligosen. Konglomerat Brani terdiri atas konglomerat merah (Gambar 7), sedangkan Formasi Pematang berupa batulempung, serpih, batupasir, dan konglomerat. Kedua unit ini ditindih secara tidak selaras oleh batuan berumur Oligosen-Miosen, yaitu Formasi Sihapas dan Telisa. Formasi Sihapas berupa batupasir kuarsa dengan sisipan batubara, sedangkan Formasi Telisa tersusun oleh batulumpur. Produk gunung api berumur Miosen Tengah – Pliosen menindih unit-unit tadi secara tidak selaras, dan di beberapa tempat merupakan pusat erupsi (kerucut gunung api). Batuan sedimen berumur Plistosen menindih batuan yang lebih tua yakni Formasi Minas dan aluvium.



Gambar 7. Konglomerat merah (Formasi Brani), terdiri atas fragmen batuan malihan (Fm. Kuantan berumur Perem) tertanam dalam massa dasar batulumpur merah. Batulumpur merah ini ditafsirkan berasal dari hasil erosi batuan vulkaniklastika berwarna merah Tanjung Balit. Lokasi singkapan di taman rekreasi Lembah Anai (Foto: Harahap 2006).

Batuan berwarna merah yang ditemukan di daerah Tanjung Balit yang sebelumnya tidak tergambar dalam peta geologi Lembar Pekan Baru adalah vulkaniklastika. Batuan vulkaniklastika ini pada umumnya berbutir halus dan terdiri atas pecahan batuan (vulkanik dan sabak) dan kuarsa yang tertanam dalam massa dasar lempung merah (oksida besi). Selain itu, terdapat batuan yang bertekstur porfiritik dengan fenokris felspar yang

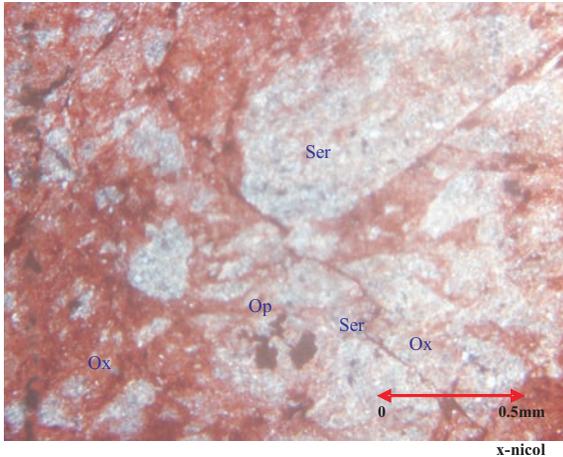
telah berubah menjadi serisit tertanam dalam massa dasar halus berwarna merah (oksida besi). Batuan vulkaniklastika berwarna merah ini berkontak sesar dengan Formasi Kuantan berumur Perem, dan secara tidak selaras ditindih oleh Formasi Sihapas.

Antiklin dan sinklin umumnya bersumbu dengan arah barat laut - tenggara. Sesar utama di daerah ini pada umumnya berarah barat laut - tenggara atau sejajar dengan arah sumbu lipatan. Sesar lainnya berarah utara - selatan dan timur laut - barat daya memotong antiklin dan sesar utama. Arah sumbu lipatan ini menandakan bahwa arah kompresi berasal dari barat daya dan timur laut, sesuai dengan arah pergerakan tektonik regional daerah Sumatra yang bergerak ke arah timur laut dan Benua Asia bergerak ke arah barat daya (Hamilton, 1979).

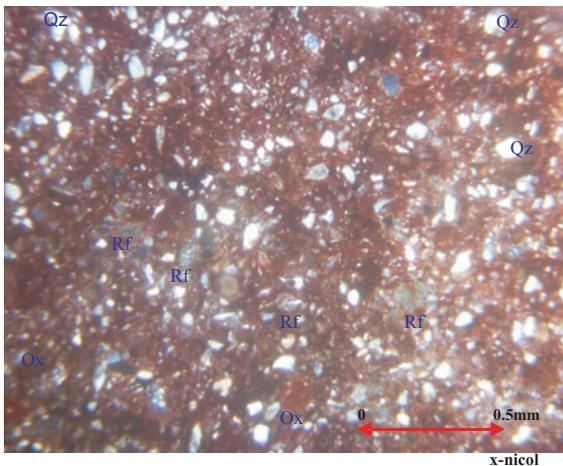
PETROLOGI

Batuan vulkaniklastika di daerah Tanjung Balit berwarna merah gelap, lunak, gembur, halus, memperlihatkan relik struktur perlapisan yang ditafsirkan berupa perselingan antara batuan yang berbutir sangat halus dan halus. Setempat terkekarkan dengan arah kekar tegak lurus terhadap arah umum relik struktur perlapisan (Gambar 2, 3, dan 4). Struktur perlapisan umumnya tetapi tidak berkembang baik. Secara megaskopis, batuan ini berupa batulumpur, berwarna merah gelap, halus, gembur, lunak, pecah-pecah, banyak mengandung oksida besi. Batuan berwarna merah lainnya terdiri atas komponen batuan merah (vulkanik dan batu sabak) dan kuarsa merah dengan massa dasar lempung merah. Penyebab warna merah batuan seperti yang dikemukakan oleh Chan dan Parry (2009) pada umumnya adalah hematit (Fe_2O_3), yang merupakan pigmen kuat di dalam batuan. Pengamatan di bawah mikroskop terhadap percontohan batuan 06BH57A memperlihatkan tekstur porfiritik dengan fenokris plagioklas tertanam dalam massa dasar lempung dan mineral kuarsa (Gambar 8), yang mengindikasikan bahwa batuan tersebut dapat dimasukkan ke dalam batuan produk gunung api. Relik mineral plagioklas masih tampak jelas, walau sudah digantikan oleh serisit. Percontohan lain (06BH58A dan 59A) adalah batuan klastika halus dan fragmental dengan ukuran butiran umumnya

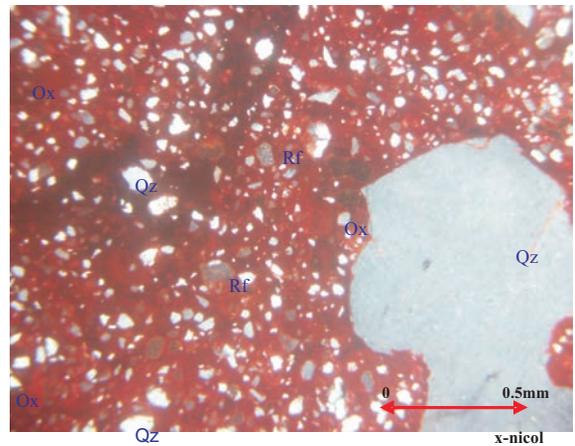
seragam dan jarang ukuran mencapai 1 cm, terdiri atas kuarsa dan fragmen batuan (Gambar 9 dan 10). Batuan ini dimasukkan ke dalam batuan vulkaniklastika sebagaimana dicirikan oleh bentuk kuarsa yang pada umumnya runcing. Dengan demikian, nomenklatur yang dipakai untuk penamaan batuan adalah menggunakan klasifikasi batuan gunung api (Gambar 11).



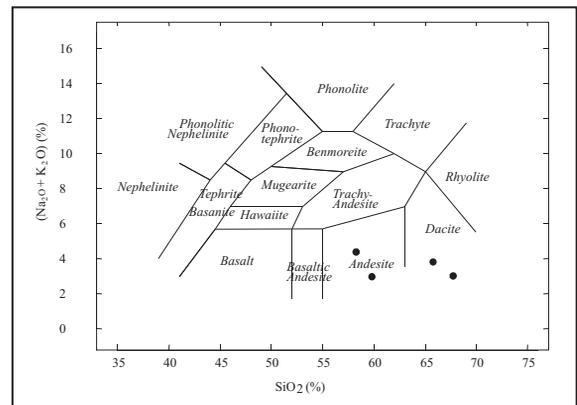
Gambar 8. Foto mikro batuan vulkaniklastika merah memperlihatkan jejak fenokris plagioklas yang berubah menjadi serisit dalam massa dasar oksida besi berwarna merah. Percontoh batuan 06BH57A. Ser = plagioklas terserisitkan, Op = mineral opak, Ox = oksida besi.



Gambar 9. Foto mikro batuan vulkaniklastika memperlihatkan mineral kuarsa dan kepingan batuan dalam massa dasar oksida besi berwarna merah. Mineral-mineral kuarsa yang berbentuk runcing merupakan salah satu ciri bahwa batuan ini sebagai batuan vulkaniklastika. Percontoh batuan 06BH58A. Qz = kuarsa. Rf = fragmen batuan, Ox = oksida besi.



Gambar 10. Foto mikro batuan vulkaniklastika memperlihatkan mineral kuarsa berukuran besar dengan bentuk sisi berlekuk (*embayment*) tertanam dalam massa dasar oksida besi berwarna merah dengan mineral kuarsa dan kepingan batuan. Mineral-mineral kuarsa yang berbentuk runcing dan *embayment* masih mencirikan bahwa batuan ini sebagai batuan vulkaniklastika. Percontoh batuan 06BH59A. Qz = kuarsa. Rf = fragmen batuan, Ox = oksida besi.



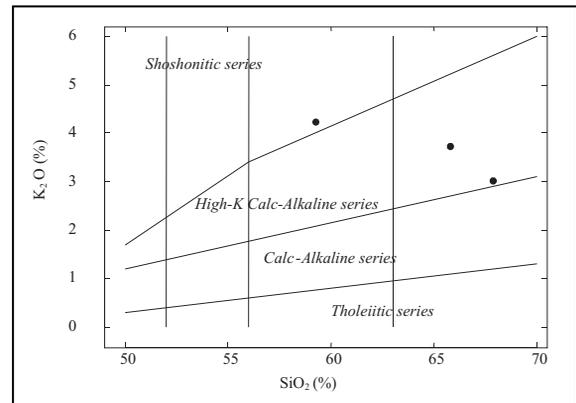
Gambar 11. Diagram klasifikasi batuan vulkaniklastika merah berdasarkan kadar alkali terhadap kadar silika (Cox drr, 1979). Dua percontoh terletak di lapangan andesit dan dua percontoh pada dasit.

Unsur Utama

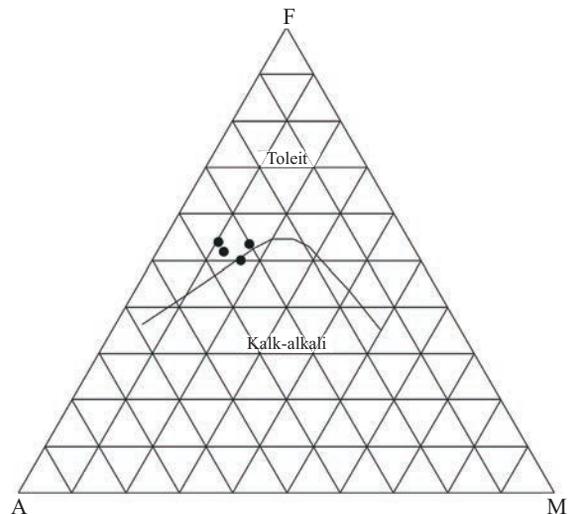
Hasil analisis geokimia unsur utama ditunjukkan pada Tabel 1. Kandungan SiO_2 berkisar 58 – 68% berat, alumina (Al_2O_3) 15,90 – 21,46% berat, magnesium (MgO) 1,36 – 1,61% berat, oksida besi (Fe_2O_3) 4,8 – 6,9% berat, potasium (K_2O) 2,73 - 4,23% berat, dan titanium (TiO_2) dari 0,60 - 0,70% berat. Batuan vulkaniklastika merah ini berubah kuat menjadi lempung, dengan kandungan CaO dan Na_2O yang

sangat rendah (masing-masing 0,02 dan maksimum 0,36% berat) dan HD (komponen volatil hilang di bakar) atau *LOI* (*Loss of Ignition*) adalah tinggi (4 - 15% berat). Jika batuan vulkaniklastika berwarna merah ini dibandingkan dengan batuan sedimen merah (batu lanau, serpih, dan batupasir; Tabel 1) Kelompok Sasayama (Asiedu dr., 2000) berumur Kapur Awal, maka terlihat bahwa kandungan Al_2O_3 dan K_2O batuan vulkanoklastika Tanjung Balit jauh lebih tinggi. Tingginya kandungan kedua unsur ini menunjukkan bahwa ciri kimia mineral utama pembentuk batuan seperti mineral feldspar, mika, dan lempung (illit) yang kaya Al_2O_3 dan K_2O masih tetap bertahan walaupun mineral-mineral tersebut telah terubah dan lapuk. Akan tetapi mineral-mineral tadi (feldspar, mika, dan lempung) dalam batuan sedimen telah hilang selama proses sedimentasi, oleh karena itu sangat sedikit jumlahnya dalam batuan sedimen merah seperti pada sedimen merah Kelompok Sasayama (Asiedu dr., 2000). Dengan demikian, kriteria di atas merupakan data pendukung bahwa batuan berwarna merah dari Tanjung Balit termasuk klasifikasi batuan beku yaitu sebagai produk gunung api. Kandungan MgO yang rendah pada batuan berwarna merah Tanjung Balit sesuai dengan batuan yang bersifat asam dan juga pengaruh ubahan dan pelapukan yang terjadi pada batuan ini, sedangkan MgO yang tinggi (6,74% berat) pada sedimen merah bersumber dari fragmen batuan ultrabasa (Asiedu dr., 2000). Selanjutnya, rendahnya kandungan unsur-unsur CaO , Na_2O , MnO , dan P_2O_5 dalam batuan berwarna merah Tanjung Balit berkaitan dengan tingkat ubahan dan pelapukan pada batuan tersebut.

Untuk semua perajahan dalam diagram, komposisi unsur utama dinormalisasi menjadi 100% tanpa kandungan unsur volatil. Kandungan silika batuan ini berkisar dari 58,83 – 68,14% berat dan dalam diagram alkali *versus* silika (Gambar 11) dapat diklasifikasikan sebagai batuan intermedier atau dasit dan satu percontoh berupa andesit perajahan dalam diagram SiO_2 terhadap K_2O (Gambar 12), tiga percontoh batuan diklasifikasikan sebagai kalk-alkalin K- tinggi, sedangkan satu percontoh tidak masuk dalam klasifikasi karena sangat terubah. Perajahan pada diagram AFM (K_2O+Na_2O - total FeO - MgO) (Gambar 13) menunjukkan bahwa seluruh percontoh batuan terkonsentrasi di sekitar batas pemisah seri kalk-alkalin dan toleit. Hasil perajahan menunjuk-



Gambar 12. Diagram SiO_2 terhadap K_2O (Peccerillo dan Taylor, 1976). Satu percontoh batuan (06BH57A) tidak masuk dalam klasifikasi ini karena sangat lapuk dan kadar silikanya sangat tinggi. Ketiga percontoh lainnya diklasifikasikan sebagai seri kalk-alkali K- tinggi.



Gambar 13. Diagram AFM ($A=K_2O+Na_2O$), F (Total FeO) dan M (MgO) (Irvine dan Baragar, 1971) batuan vulkaniklastika merah Tanjung Balit. Semua batuan terkonsentrasi pada batas lapangan kalk-alkali dan toleit. Hasil perajahan ini menunjukkan bahwa batuan ini tidak sepenuhnya jatuh pada lapangan kalk-alkali, hal ini sangat berkaitan dengan rendahnya kandungan unsur Na_2O dan MgO akibat ubahan dan pelapukan pada batuan tersebut.

kan bahwa batuan ini tidak sepenuhnya jatuh pada lapangan kalk-alkali. Hal ini sangat berkaitan dengan rendahnya kandungan unsur Na_2O dan MgO akibat ubahan dan pelapukan pada batuan tersebut. Pola geokimia batuan vulkaniklastika merah ini dicirikan oleh alumina (Al_2O_3) tinggi, bervariasi dari

15,50 - 21% berat, kandungan MgO rendah (2-5 % berat), kandungan alkali ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$) kurang dari 8 % berat, dan kandungan TiO_2 kurang dari satu persen berat. Ciri geokimia tersebut di atas merupakan karakteristik magma yang berkaitan dengan subduksi pada pinggir benua aktif. Seperti halnya pada batuan-batuan yang berkaitan dengan subduksi, batuan andesit mempunyai ciri magma yang terevolusi, dengan kandungan MgO rendah dan nilai Mg# ($\text{MgO}/\text{MgO} + \text{FeO}_{\text{tot}}$) maksimum sebesar 50 (Gill, 1981).

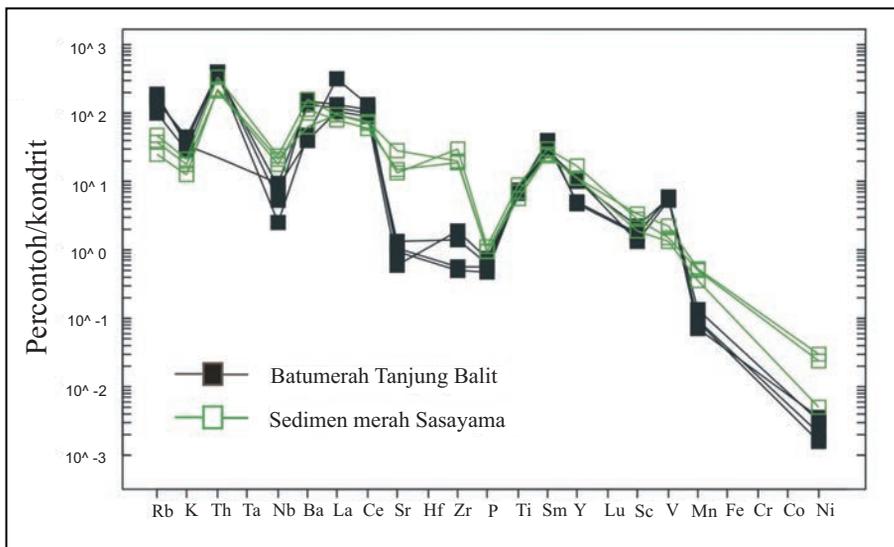
Unsur Jejak

Hasil analisis unsur jejak batuan vulkaniklastika merah dari Tanjung Balit ditunjukkan pada Tabel 2. Kandungan unsur *mobile* seperti strontium (Sr) sangat rendah (6,34-13,68 ppm) tidak lagi dalam rentang pada seri batuan beku (vulkanik) segar, dengan kata lain belum terubah dan lapuk pada umumnya. Hal ini sesuai dengan tingkat pelapukan Ca yang sudah berkurang dalam mineral plagioklas. Kandungan unsur *mobile* lainnya seperti rubidium (Rb) dan lantanum (La) cukup tinggi dalam batuan ini, masing-masing (190,52-344,51) ppm dan (34,50-101,61) ppm. Sebagai perbandingan, kandungan Sr, Rb, dan La pada toleit – kalk-alkalin – shoshonit masing-masing berkisar 90-850 ppm, 5-120 ppm, dan 1,1-18 ppm (Jakes dan White, 1972). Konsentrasi Rb dan La yang sangat tinggi jauh melebihi magma busur kepulauan berkomporsi dasit (masing-masing 45 dan 14 ppm) (Jakes dan White, 1972) dan juga lebih tinggi dari pada dasit Neogen Pangkalan Kotabaru (masing-masing 60 dan 21,50 ppm) (Harahap, 2007). Konsentrasi tinggi kedua unsur ini kemungkinan besar mencerminkan kimia magma seri kalk-alkalin K-tinggi. Pada awalnya batuan tersebut mengandung mineral-mineral K-felspar, horeblend, dan biotit, kemudian terjadi pengayaan unsur Rb dan La selama proses ubahan berlangsung. Konsentrasi Sr yang sangat rendah diyakini berkaitan erat dengan mineral plagioklas yang berubah total menjadi mineral sekunder seperti serisit dan lempung. Unsur Sr yang *compatible* terhadap plagioklas terlepas selama proses ubahan.

Unsur jejak *immobile* dalam batuan vulkaniklastika ini menunjukkan kandungan Nb, P dan Zr yang relatif rendah dan berkisar masing-masing dari 1,37 - 5,35 ppm, 240 - 299 ppm, dan 4,60 - 17,25 ppm. Konsentrasi menengah terdapat pada Ti (4155 - 4478

ppm) dan tinggi pada vanadium (V) (258 - 283,60 ppm). Sebagai perbandingan kandungan V dalam sedimen merah (Kelompok Sasayama) yang materialnya berasal dari batuan beku adalah berkisar dari 64 -110 ppm (Tabel 2), sedangkan dalam sedimen lain pada umumnya jauh lebih rendah yaitu sekitar 20 ppm (Asiedu dr., 2000). Unsur *mobile* seperti barium (Ba) memperlihatkan variasi yang cukup lebar berkisar dari 144,76 ppm hingga 529 ppm. Thorium (Th) mempunyai kandungan sangat tinggi dengan kisaran sempit (14,13-15,76 ppm), dan serium (Ce) juga sangat tinggi (76,48 -114,10). Kandungan unsur Th yang tinggi dalam batu merah ini terjadi juga pada sedimen merah Kelompok Sasayama, yaitu 8,42-13,40ppm, yang ditafsirkan bahwa batuan sumber sedimen ini berasal dari kerak benua bagian atas (Asiedu dr., 2000)

Unsur jejak batuan vulkaniklastika merah dari Tanjung Balit digambarkan pada diagram laba-laba (*spider diagram*) (Gambar 14). Unsur jejak dibagikan *normalized* terhadap kondrit (*chondrites*) yang merupakan bahan primitif sistem solar dan dianggap sebagai batuan induk bumi. Diagram tersebut menunjukkan bahwa batuan vulkaniklastika ini mengalami pengayaan *large ion lithophile elements (LILE)* seperti Rb, Ba, K, dan Th kecuali Sr relatif terhadap REE. Dalam gambar ini pun ditunjukkan pola grafik batuan sedimen merah Kelompok Sasayama yang memperlihatkan pengayaan *LILE* dengan kemiringan yang curam ke arah kanan (*High Field Strength Element, HFSE*), yaitu unsur-unsur yang bersumber dari batuan ultramafik. Lebih lanjut Asiedu dr. (2000) melaporkan bahwa sumber material penyusun sedimen merah kelompok Sasayama sebagian besar berasal dari batuan beku berkomporsi felsik pada lingkungan tepian benua dengan kontribusi batuan vulkanik bersifat magma busur dan batuan ultramafik. Sedimen merah Kelompok Sasayama mempunyai unsur Zr, Sr, dan Ni yang lebih kaya dan unsur Rb dan K lebih rendah dibandingkan dengan batuan vulkaniklastika merah Tanjung Balit. Pengayaan unsur Rb, Ba, K, dan Th serta pemiskinan unsur Nb, Zr, dan Ti merupakan ciri magma kalk-alkalin (Wilson, 1989; Sajona dr. 1996). Anomali negatif Nb dalam diagram ini merefleksikan kehadiran residu fase yang mengandung Nb dalam sumber magma selama proses *partial melting* (Wilson, 1989) atau efek kontaminasi kerak (Cox dan Hawkesworth,



Gambar 14. Diagram laba-laba unsur jejak batuan vulkaniklastika merah daerah Tanjung Balit (06BH56, 57, 58 dan 59) dan sedimen merah dari Kelompok Sasayama. Percontoh-percontoh ini dinormalkan (*normalized*) terhadap kondrit (*chondrite*) (Wood drr., 1979).

1985). Lekukan unsur Nb dalam diagram laba-laba merupakan tipe magma yang tererupsikan pada lingkungan tektonik berkaitan dengan subduksi (Wilson, 1989).

Menurut Miyashiro (1974) jarak horizontal proses magma berpengaruh terhadap tingkat alkalinitas suatu magma, yakni semakin menjauhi *trench* semakin tinggi kandungan kaliumnya. Posisi daerah Tanjung Balit berada jauh dari Palung Sunda, yaitu di belakang deretan gunung api busur di Bukit Barisan seperti Maninjau dan Malintang (Harahap dan Abidin, 2006). Di sini pengaruh kontaminasi kerak yang lebih tebal terhadap magmanya dalam perjalanan ke permukaan sangat memungkinkan, sehingga unsur-unsur ringan seperti U, Th, La, dan Ce akan lebih kaya.

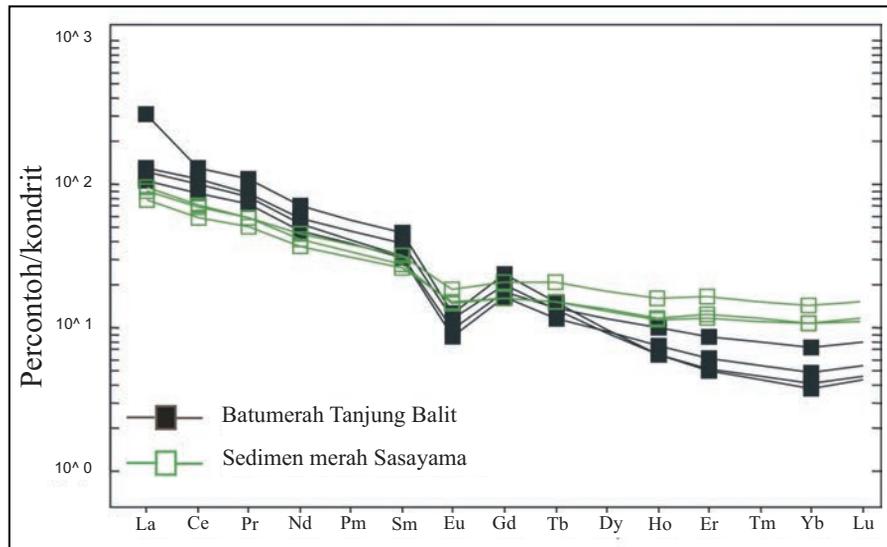
Dengan berlimpahnya magma kalk-alkalin di daerah Sumatra pada Tersier (Cameron drr., 1980) kemungkinan di daerah Tanjung Balit terdapat komponen sumber subduksi mantel yang termodifikasi terlibat dalam petrogenesis magma. Kandungan Ni yang sangat rendah, maksimum 34 ppm, menunjukkan bahwa batuan sudah mengalami proses evolusi magma. Sebagai perbandingan, batuan sedimen merah dalam Kelompok Sasayama mempunyai kandungan Ni yang sangat tinggi yaitu (47 – 288) ppm. Level Ni yang sangat tinggi dalam sedimen telah dilaporkan oleh beberapa ahli (Hiskott, 1984

dan Wrafter, 1989, dalam Asiedu drr., 2000) yang menyatakan bahwa sumber material yang menyusun sedimen tersebut berasal dari ultramafik (*ultramafic provenance*).

Unsur Langka

Hasil analisis unsur langka batuan vulkaniklastika merah Tanjung Balit ditunjukkan pada Tabel 3 dan hasilnya dirajah pada diagram laba-laba (Gambar 15). Dari tabel tersebut terlihat bahwa semua unsur *REE* memperlihatkan adanya variasi konsentrasi antara satu percontoh dengan percontoh lainnya. Konsentrasi unsur La yang sangat tinggi pada batuan vulkaniklastika merah ini tampaknya berstatus sama dengan Rb sebagaimana telah dibahas sebelumnya, yaitu berawal dari komposisi magma kaya potasium dan kemudian diikuti oleh penambahan unsur ini secara signifikan selama proses ubahan berlangsung.

Untuk mendapatkan pola *REE*, maka unsur-unsur tersebut dirajah ke dalam diagram laba-laba (Gambar 15). Diagram ini dinormalisasikan terhadap kondrit, dan harga sejumlah unsur langka untuk percontoh batuan vulkaniklastika merah Tanjung Balit dibagi terhadap nilai kondrit dari Wood drr., (1979). Hasil perajahan tersebut memperlihatkan pengayaan unsur langka ringan (*LREE*) dari La ke Yb, normal / datar dari konsentrasi Yb ke Lu dan



Gambar 15. Diagram laba-laba unsur langka batuan vulkaniklastika merah Tanjung Balit (06BH56, 57, 58 dan 59) dan sedimen merah Kelompok Sasayama. Percontoh batuan ini dinormalkan terhadap kondrit (*chondrite*) (Wood dr., 1979).

menurun pada unsur berat (*HREE*), suatu pola umum pada batuan gunung api seri kalk-alkalin (Jakes dan White, 1972; Wilson, 1989). Dalam Gambar 15 dirajah juga unsur jarang sedimen merah Kelompok Sasayama, dari hasil perajahan tersebut menunjukkan pengayaan unsur ringan (*LREE*) dengan lekukan pada Eu dan mendatar pada unsur berat (*HREE*). Pola ini juga menunjukkan bahwa sumber material sedimen ini sebagian besar berasal dari batuan beku berkomposisi felsik dengan kontribusi batuan vulkanik bersifat magma busur dan ultramafik pada lingkungan pinggiran Benua (Asiedu dr., 2000). Secara umum, batuan ini mempunyai kandungan unsur ringan yang lebih redah dan unsur berat yang lebih kaya dari pada batuan vulkaniklastika merah Tanjung Balit (Gambar 15).

Diagram laba-laba unsur *REE* batuan vulkaniklastika merah dari Tanjung Balit (Gambar 15) menunjukkan pola distribusi unsur-unsur yang mirip dengan rentang fraksinasi yang relatif sempit. Semua percontoh mempunyai konsentrasi *HREE* di bawah rasio 10 terhadap kondrit. Diagram ini memperlihatkan konsentrasi europium (Eu) yang terdepleksi sebagai kristalisasi fraksional plagioklas. Konsentrasi unsur-unsur pada semua percontoh batuan yang bervariasi secara konsisten adalah suatu bukti bahwa hubungan genetik melalui diferensiasi kristalisasi fraksional. Ditambahkan pula bahwa percontoh batuan paling lapuk (05BH57A) masih

mempunyai pola grafik unsur langka yang sama dengan batuan yang relatif lebih segar, suatu tanda bahwa unsur langka ini dapat bertahan dalam proses ubahan dan pelapukan batuan.

DISKUSI

Di Papua batuan berwarna merah merupakan lapisan dalam sekuen batuan sedimen yang materialnya berasal dari produk gunung api berumur Trias (Formasi Tipuma; Visser dan Hermes, 1962). Hasil analisis petrografi batuan berwarna merah tersebut menyimpulkan bahwa warna merah dihasilkan oleh mineral hematit yang berasal dari produk gunung api yang diendapkan bersamaan dengan proses pengendapan sedimen klastika Formasi Tipuma (Pigram dan Panggabean, 1983). Lebih lanjut diinterpretasikan bahwa Formasi Tipuma diendapkan pada lingkungan darat (*terrestrial*) dengan kondisi kering (*arid condition*). Di Colorado, Amerika Serikat penyebab batuan berwarna merah seperti yang dikemukakan oleh Chan dan Parry (2009) pada umumnya adalah karena adanya oksida besi yang dikenal sebagai hematit (Fe_2O_3). Mereka berpendapat bahwa besi merupakan pigmen kuat di dalam batuan, dan pigmen merah pada komponen dan fenokris batuan disebabkan oleh reaksi kimia, sebagaimana lazimnya paku berkarat.

Beberapa kriteria geokimia menunjukkan bahwa batuan berwarna merah dari Tanjung Balit ini merupakan batuan vulkaniklastika dan yang membedakannya dengan sedimen, di antaranya adalah kandungan Al_2O_3 , K_2O , V dan Ni. Batuan vulkaniklastika merah ini mempunyai kandungan Al_2O_3 , K_2O , dan V yang jauh lebih tinggi dan kandungan Ni yang jauh lebih rendah dari pada sedimen merah di tempat lain, seperti sedimen merah Kelompok Sasayama (Asiedu dr., 2000). Khusus untuk kandungan K_2O yang berkisar dari 1,26-2,15% berat pada Kelompok Sasayama dan dikategorikan bernilai tinggi di antara batuan sedimen pada umumnya di sebabkan oleh adanya kandungan fragmen vulkanik dalam sedimen merah tersebut. Rendahnya kandungan unsur Al_2O_3 dan K_2O dalam sedimen seperti sedimen merah Kelompok Sasayama menunjukkan bahwa mineral feldspar dan mika tidak berperan penting sebagai material penyusun batuan tersebut.

Suatu bukti bahwa mineral feldspar dan mika sudah terlebih dahulu terlepas/menghilang selama proses transportasi dan sedimentasi berlangsung pada sedimen merah Kelompok Sasayama. Tingginya kandungan Ni dalam sedimen merah Kelompok Sasayama mengindikasikan bahwa dalam sumber material yang menyusun sedimen merah tersebut terdapat batuan ultramafik. Vanadium terkonsentrasi dalam batuan beku mafik, sehingga nilai kandungannya dalam batuan sedimen pada umumnya rendah. Berdasarkan kriteria ini, sebagaimana telah dilaporkan oleh Asiedu dr., (2000), sedimen merah Kelompok Sasayama berasal dari beberapa sumber batuan, yang sebagian besar berasal dari batuan beku berkomposisi felsik pada kerak benua bagian atas (*upper continental crust*), ofiolit, dan batuan vulkanik bersifat magma busur.

Selanjutnya kesamaan nilai kandungan beberapa unsur antara batuan vulkaniklastika merah Tanjung Balit dan sedimen merah Kelompok Sasayama menunjukkan bahwa terdapat material vulkanik sebagai penyusunnya dan adanya kesamaan ciri geokimia. Berdasarkan kedudukan tektonik keduanya berkaitan dengan kerak benua, yang ditafsirkan sebagai sumber utama kontribusi kandungan Th tinggi, dalam hal ini terjadinya kontaminasi pada batu merah Tanjung Balit dan sedimentasi pada sedimen merah Kelompok Sasayama.

Batuan vulkanik berumur Eosen di Sumatra mencirikan suatu proses yang berkaitan dengan

pembentukan busur gunung api sebagaimana telah ditafsirkan oleh Bellon dr. (2004; dalam Crow, 2005). Magma yang keluar ke permukaan juga diinterpretasikannya berkaitan dengan sesar pada lingkungan busur (*arc*) dan cekungan busur belakang (*back-arc basin*).

Keberadaan batuan vulkaniklastika berwarna merah gelap (merah darah) di daerah Tanjung Balit memerlukan klarifikasi dalam kaitannya dengan penentuan umur dan karakter geokimianya. Hubungan stratigrafinya dengan batuan lain di lapangan menunjukkan bahwa batuan ini secara tidak selaras ditindih oleh batuan klastika Formasi Sihapas berumur Oligo-Miosen.

Hubungan batuan vulkaniklastika berwarna merah ini dengan batuan yang lebih tua ditunjukkan pada Gambar 6. Di sini terlihat bahwa batu berwarna merah ini berkontak langsung dengan batuan metasedimen Formasi Kuantan berumur Perem. Kontak kedua unit ini ditafsirkan berupa kontak sesar naik, karena Formasi Kuantan tersesarkan naik ke atas batuan berwarna merah. Data tambahan yang dianggap cukup penting adalah Konglomerat Brani yang terdiri atas konglomerat merah, dan fragmennya berasal dari batuan malihan bersumber dari Formasi Kuantan (Gambar 7). Fragmen tersebut tertanam dalam massa dasar klastika halus berwarna merah gelap yang ditafsirkan sama dengan batuan vulkaniklastika merah yang dibahas dalam artikel ini. Dengan demikian, batuan vulkaniklastika berwarna merah yang tersingkap di daerah Tanjung Balit diusulkan berumur Eosen atau kurang lebih seumur dengan Konglomerat Brani yang berumur Eosen-Oligosen.

Secara geokimiawi percontohan batuan berwarna merah dari daerah ini merupakan batuan gunung api berupa vulkaniklastika yang terutama terdiri atas batuan dengan kandungan utama kuarsa dan fragmen batuan, dan lainnya dengan kandungan utama plagioklas. Di sini unsur silika lebih tinggi pada batuan vulkaniklastika dengan kandungan utama kuarsa dan fragmen batuan. Batuan yang teralterasi kuat telah merubah beberapa unsur penting di dalam mineral, perubahan feldspar menjadi lempung telah menurunkan kandungan CaO dan Na_2O nya. Strontium sudah terlepas pada saat alterasi feldspar berlangsung. Konsentrasi rubidium dalam batuan ini tergolong sangat tinggi, jauh melebihi ambang batas batuan gunung api. Kandungan tinggi ini selain

berasal dari magmanya sendiri yang kaya potasium, juga dari mineral ubahan seperti serisit dan lempung. Kandungan europium masih dalam nilai normal untuk batuan gunung api (Jakes dan White, 1972). Terbentuknya deplesi unsur ini dalam diagram laba-laba (Gambar 15) berkaitan dengan kristalisasi fraksional plagioklas. Data unsur jejak batuan gunung api merah Tanjung Balit juga menunjukkan bahwa batuan-batuan ini telah mengalami pengayaan akan unsur thorium, uranium, dan samarium (Sm) yang kemungkinan besar akibat proses kontaminasi, sewaktu magma asal menerobos kerak benua di bawah Sumatra dalam perjalanannya menuju ke permukaan.

Magmatisme berumur Eosen di daerah ini erat kaitannya dengan proses tektonik lempeng yang ditandai dengan ciri batuan yang berkaitan dengan subduksi atau orogenik. Di antara sifat magmanya yaitu kalk-alkalin dengan kandungan aluminium tinggi, titanium rendah, dan kalium normal. Pola unsur jejak semua batuan gunung api merah daerah Tanjung Balit dalam diagram laba-laba memperlihatkan kemiripan satu sama lain (Gambar 14), tetapi pola tersebut berbeda dengan batuan gunung api segar pada umumnya. Beberapa tonjolan kuat negatif dan positif dalam diagram tersebut muncul baik pada unsur ringan maupun unsur berat. Akan tetapi secara umum, diagram tersebut menunjukkan bahwa batuan gunung api ini dicirikan oleh pengayaan *large ion lithophile elements*, dan lekukan unsur Nb dan Zr yang merupakan ciri magma kalk-alkalin yang berkaitan dengan proses subduksi lempeng samudra di bawah lempeng benua. Pola REE batuan gunung api Tanjung Balit dalam diagram laba-laba, pada dasarnya memperlihatkan pola yang sama dengan sedikit variasi berupa penyimpangan positif pada unsur La dalam percontoh 06BH56A (Gambar 15). Oleh karena itu dapat disimpulkan bahwa semua batuan gunung api tersebut berasal dari satu sumber magma yang sama.

Data awal dalam makalah ini barangkali akan bisa mendukung pendapat para ahli terdahulu (seperti Hamilton, 1979; Cameron drr., 1980; Barber, 2000) bahwa proses tektonik lempeng sudah berlangsung di Sumatra sejak Paleogen. Kegiatan magmatisme Eosen tidak hanya di Sumatra bagian utara seperti yang dilaporkan peneliti terdahulu (misalnya Cameron drr., 1978; Clarke drr., 1982a,b), tetapi berlangsung juga di bagian tengah Sumatra seperti

yang terjadi di daerah Tanjung Balit. Pengangkatan di daerah ini berlangsung setidaknya pada Eosen. Dalam hal ini batuan gunung api merah Tanjung Balit dan malihan (Formasi Kuantan) tererosi, sehingga menghasilkan Konglomerat Brani yang terendapkan pada lingkungan darat. Terjadinya proses oksidasi yang sedemikian intensif tentunya berkaitan langsung dengan lingkungan daratan.

KESIMPULAN

Kesebandingan geokimia batuan vulkaniklastika dan lava berumur Eosen Tanjung Balit terhadap batuan vulkanik Eosen di tempat lain di Sumatra belum dapat diuraikan dalam makalah ini, karena belum tersedianya analisis geokimia. Akan tetapi adanya ciri busur vulkanik seperti yang dikemukakan oleh peneliti terdahulu khususnya pada Formasi Kieme, Semelit, dan Sitaban memperlihatkan kesamaan dengan vulkaniklastika Tanjung Balit, yaitu busur vulkanik yang merupakan produk proses subduksi. Warna merah pada batuan vulkaniklastika di daerah Tanjung Balit diinterpretasikan akibat kandungan oksida besi (hematit), sama halnya dengan batuan berwarna merah yang berasal dari produk gunung api berumur Trias dari Papua (Formasi Tipuma) sebagaimana dilaporkan oleh Pigram dan Panggabean (1983).

Batuan berwarna merah di daerah Tanjung Balit berasal langsung dari aktivitas magma berupa batuan vulkaniklastika. Satu percontoh batuan (06BH57A) terdiri atas plagioklas yang berubah menjadi serisit sebagai fenokris dalam masa dasar lempung merah. Tiga percontoh batuan (06BH56A, 58A dan 59A) terdiri atas fenokris kuarsa dan kepingan batuan dengan masa dasar lempung merah. Perubahan kandungan unsur seperti Ca, Na, Rb, La, dan Sr dalam batuan vulkaniklastika di daerah ini termasuk sangat sensitif dalam peristiwa ubahan dan pelapukan. Mineral feldspar yang sangat berubah serta lapuk menjadi serisit dan lempung menjadikan unsur kalsium, natrium, dan strontium berkurang secara signifikan, sebaliknya unsur rubidium dan lantanum bertambah secara signifikan. Penyebab warna merah darah batuan vulkaniklastika di Tanjung Balit masih memerlukan penelitian lanjut. Kesimpulan sementara disebabkan oleh oksidasi besi (hematit), dan kemungkinan lainnya adalah oksidasi mineral

horenblenda dan biotit. Batuan vulkaniklastika berwarna merah ini diklasifikasikan sebagai seri kalk-alkalin ber-potasium (K) tinggi. Andesit sebagai batuan yang paling basa mempunyai kandungan MgO sangat rendah dan nilai $MgO/MgO+FeO_{Total}$ juga rendah. Aktivitas magmanya berlangsung pada lingkungan busur gunung api dan telah terkontaminasi kerak benua.

Hal lain yang perlu disimpulkan dalam makalah ini adalah bahwa batuan berwarna merah di Tanjung Balit yang tidak terekam oleh peneliti terdahulu, adalah vulkaniklastika berumur Eosen. Untuk itu perlu dibuatkan penamaan unit baru dan sekaligus merevisi pernyataan peneliti terdahulu yang melaporkan bahwa tidak terjadi magmatisme berumur Eosen di daerah ini. Batuan vulkaniklastika dari daerah Tanjung Balit merupakan hasil aktivitas gunung api, dan diinterpretasikan berkaitan langsung dengan proses subduksi ketika Lempeng Samudra Hindia menunjam secara miring di bawah Pulau Sumatra pada Eosen.

Ucapan Terima Kasih—disampaikan kepada anggota tim geologi dan petrologi Klaster Zone Bukit Barisan dan Lajur Timah Bangka Belitung (Drs Wawa Kartawa, Ir Yan Elhami, dan Iyep Supriatna) yang memberikan bantuan penuh di lapangan dan dalam proses penyusunan makalah ini. Kepada Iyep Supriatna dan Rum Yuniarni, S.T. yang telah membantu dalam penggambaran, penulis mengucapkan banyak terima kasih.

ACUAN

- Abidin, H.Z., 2008. Pb-Zn-Ag Deposits at Tanjung Balit, Limapuluh Kota Regency, West Sumatra. *Jurnal Sumber Daya Geologi*, 18, (4), h.253-263.
- Asiedu, D.K., Suzuki, S, Nogami, K., dan Shibata, T., 2000. Geochemistry of Lower Cretaceous sediments, Inner Zone of Southwest Japan: Constraints on provenance and tectonic environment. *Geochemical Journal*, 34, h.155-173.
- Aspden., J.A., Kartawa, W., Aldiss, D.T., Djunuddin, A., Whandoyo, R., Diatma, D., Clarke, M.C.G., dan Harahap, H., 1982. *The Geology of the Padangsidempuan and Sibolga Quadrangle (0717) Sumatra, scale 1:250 000*. Geological Research and Development Centre, Bandung
- Barber, A.J., 2000. The origin of the Woyla Terranes in Sumatra and the Late Mesozoic evolution of the Sundaland margin. *Journal of Asian Earth Sciences* 18, h.713-738.
- Bennet, J.D., Bridge, D. McC., Cameron, N.R., Djunuddin, A., Ghazali, S.A., Jeffrey, D.H., Kartawa, W., Keats, W., Rock N.M.S., Thompson, S.J., dan Whandoyo, R., 1981. *The Geology of the Banda Aceh Quadrangle, Sumatra, scale 1:250 000*. Geological Research and Development Centre, Bandung.
- Cameron, N.R., Clarke, M.C.G., Aldis, D.T., Aspden, J.A., dan Djunuddin, A., 1980. The geology evolution of Northern Sumatra. *Proceedings 9th Annual Convention IPA*, h.149-187.
- Cameron, N.R., Bennet, J.D., Bridge, D. McC., Clarke, M.G.C., Djunuddin, A., Ghazali, S.A., Harahap, H., Jeffrey, D.H., Kartawa, W., Keats, W., Ngabito, H., dan Rock N.M.S., 1983. *The Geology of the Takengon Quadrangle (0520), Sumatra, Scale 1:250 000*. Geological Research and Development Centre, Bandung.
- Chan, M.A. dan Parry, W.T., 2009. Rainbow of Rocks Mysterias of Sandstone Colors and Concretions in Colorado Plateau Canyon Country. *Public Information Series 77. Utah Geological Survey*, h.1-17.
- Clarke, M.C.G., Kartawa, W., Djunuddin, A., Suganda, E., dan Bagdja, M., 1982 a. *Peta Geologi Lembar Pakanbaru, Sumatra, skala 1: 250 000*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.
- Clarke, M.C.G., Kartawa, W., Djunuddin, A., Suganda, E., dan Bagdja, M., 1982 b. *Geologi Lembar Pakanbaru, Sumatra, skala 1: 250 000*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.
- Cox, K.G., Bell, J.D., dan Pankhurst, R.J., 1979. *The interpretation of igneous rocks*. London; Allen and Unwin, 450 h.
- Cox, K.G. dan Hawkesworth, C.J., 1985. Geochemical stratigraphy of the Deccan Traps at Mahabaleshwar, western Ghats, India, with implications for open system magmatic processes. *Journal of Petrology*, 26, h.355-377.
- Crow, M.J., 2005. Tertiary Volcanicity. In: Barber, A.J. Crow, M.J., dan Milsom J.S., (eds.), *Geology, Resources and Tectonic Evolution of Sumatra*. Geological Society Memoir 31, h. 63-85. *Geological Society of London*.
- Crow, M.J. dan Barber, A.J., 2005. Simplified geological map of Sumatra. In: Barber, A.J., Crow, M.J., dan Milsom, J.S. (eds.) *Sumatra Geology, Resources and Tectonic Evolution, Geological Society Memoir*, 31.
- Fontains, H. dan Gafoer, S., 1989. The Pre-Tertiary fossils of Sumatra and their environment. *CCOP, Technical Papers*, 19, United Nations Bangkok.
- Gill, J.B., 1981. *Orogenic andesites and plate tectonics*. Berlin: Springer-Verlag, 358 h.
- Hamilton, W., 1979. *Tectonics of the Indonesian region*, US. Geological Survey Professional Paper 1078.
- Harahap, B.H. dan Abidin, H.Z., 2006. Petrology of lava from Maninjau Lake, West Sumatra. *Journal of Geological Resources*, XVI (6), h.359-370.
- Harahap, B.H., 2006. Magmatisme segmen utara Zone Bukit Barisan daerah Kabupaten Limapuluh Kota, Sumatra Barat. *Pusat Survei Geologi* (tidak diterbitkan).
- Harahap, B.H., 2007. Petrologi batuan magmatis Neogen daerah Pangkalan Kotabaru Limapuluh Kota Sumatra

- Barat. *Jurnal Sumber Daya Geologi*, XVII (4), h. 2007-217.
- Irvine, T. N. dan Baragar, W.R.A., 1971. A guide to the chemical classification of the common rocks. *Canadian Journal of Earth Science*, 8, h.523-48.
- Jakes, P. dan White, A.J.R., 1972. Major and trace element abundances in volcanic Rocks of orogenic areas. *Geological Society of America Bulletin*, 83, h.29-40.
- Kastowo, Sukardi, Suparman, M., Sukanta, U., dan Mac. Endharto, 1978. *Peta Geologi Lembar Lubuk Sikaping, skala 1:250 000*. Direktorat Geologi, Bandung.
- Miyashiro, A., 1974. Volcanic rock series in island arcs and active continental margins. *American Journal of Science*, 274, h.321-355.
- Peccerillo, A. dan Taylor, S.R., 1976. Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, Northern Turkey. *Contribution on Mineralogy and Petrology*, 58, h.63-81.
- Pigram, C.J. dan Panggabean, H., 1983. Geological Data Record of Waghete (Yapekopare) Quadrangle, Irian Jaya. *Geological Research and Development Centre. Open file report* (unpublished).
- Rock, N.M.S., Aldiss, D.T., Aspden, J.A., Clarke, M.C.G., Djunuddin, A., Kartawa, W., Miswar, S.J., Thompson, R., dan Whandoyo, R., 1983. *The Geology of the Lubuk Sikaping Quadrangle (0716) Sumatra, scale 1:250 000*. Geological Research and Development Centre, Bandung.
- Sajona, F.G., Maury, R.C., Bellon, H., Cotton, J., dan Defant, M., 1996. High Field Strength Element Enrichment of Pliocene-Pleistocene Island Arc basalts, Zamboanga Peninsula, Western Mindanao (Philippines). *Journal of Petrology*, 37(3), h.693-726.
- Silitonga, P.H. dan Kastowo, 1995. *Peta Geologi Lembar Solok, Sumatra Barat, skala 1:250 000*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.
- Visser, W.A. dan Hermes, J.J, 1962. Geological results of the exploration for oil in Netherlands New Guinea, *Koninklijke Netherlands Mijnbouwkundig Genootschap Verhandelingen, Geologische Serie*, 20.
- Wilson, M., 1989. *Igneous Petrogenesis a global tectonic approach*. Harper Collins Academic.
- Wood, D.A., Joron, J.L., dan Treuil, M., 1979. A re-appraisal of the use of trace elements to classify and discriminate between magma series erupted in different tectonic settings. *Earth Planetary Scientific Letters*, 45, h.326-36.