

**TATAAN TEKTONIKA BATUAN GUNUNG API
DI KOMPLEK ADANG, KABUPATEN MAMUJU,
PROVINSI SULAWESI BARAT**

***TECTONIC SETTING OF ADANG VOLCANIC COMPLEX
IN MAMUJU REGION, WEST SULAWESI PROVINCE***

I Gde Sukadana^{1,2*}, Agung Harijoko², dan Lucas Donny Setijadji²

¹Pusat Teknologi Bahan Galian Nuklir – BATAN, Jl. Lebak Bulus Raya No. 9 Pasar Jumat, Jakarta

²Jurusan Teknik Geologi Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada Yogyakarta 55281, Indonesia

*E-mail: sukadana@batan.go.id

Naskah diterima: 6 April 2015, direvisi: 27 April 2015, disetujui: 4 Mei 2015

ABSTRAK

Kompleks batuan gunung api Adang di daerah Kabupaten Mamuju, Sulawesi Barat secara lebih detail dapat dikelompokkan menjadi tujuh, yaitu kompleks Tapalang, Ampalas, Adang, Malunda, Karampuang, Sumare, dan Labuan Rano. Komplek Adang merupakan salah satu kompleks gunung api utama yang masih dapat diidentifikasi bentukan morfologinya dengan baik. Komplek ini tersusun atas batuan gunung api basa hingga intermediet yang memiliki nilai laju dosis radiasi cukup tinggi yang disebabkan oleh kandungan mineral radioaktif di dalamnya. Keterdapatannya mineral radioaktif pada batuan basaltik-andesitik belum pernah dijumpai di Indonesia sehingga hal ini menjadi sangat menarik untuk dilakukan penelitian terutama tataan tektonika pembentukan batuan kompleks gunung api tersebut. Tujuan penelitian ini adalah untuk menentukan tipologi magmatik yang terkait dengan tataan tektonikanya dengan pendekatan geokimia batuan gunung api menggunakan analisis *X-Ray Fluorescence* (XRF). Batuan gunung api Adang merupakan hasil dari proses vulkanisme suatu kompleks gunung api yang memiliki pusat erupsi dan beberapa kubah lava. Batuan tersebut tersusun atas batuan *trachyte-phonolite*, dengan afinitas magmatiknya ultrapotasik. Dari data tersebut dapat diinterpretasi bahwa tataan tektonika magmatologinya adalah *active continental margin* (ACM). Magma asal yang membentuknya dari aktivitas gunung apinya dipengaruhi oleh kerak benua mikro barat daya (*South West/SW*) Sulawesi.

Kata kunci: tataan tektonika, batuan gunung api, geokimia, Mamuju

ABSTRACT

Adang volcanic complex located in Mamuju Region, West Sulawesi can be grouped more detail into seven complexes that are Tapalang, Ampalas, Adang, Malunda, Karampuang, Sumare, and Labuan Rano. Adang complex is one of the main volcanic complexes that still can be identified with good morphological formations. This complex is composed of alkaline volcanic rocks with basic to intermediates composition that have high value of radiation dose rate caused by their radioactive mineral content. Radioactive mineral occurrences on the basaltic-andesitic rocks has never been found in Indonesia, so it becomes very interesting to do

research mainly tectonic settings of the volcanic rock complex formation. The purpose of this study is to determine magmatic typology related with the tectonic setting based on volcanic rock geochemistry using X-Ray Fluorescence (XRF) analysis. Adang volcanic rock is the result of a complex process of volcanism having a volcanic center and several lava domes. They are composed of phonolite to dacite rock, with ultrapotassic affinity, interpretation of data concluded that tectonic setting of magmatism formed in active continental margin (ACM). Magmatism source from volcanic activities influenced by South West Sulawesi micro-continental crust.

Keywords: tectonics setting, volcanic rock, geochemical, Mamuju

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Mamuju merupakan ibu kota Provinsi Sulawesi Barat hasil pemekaran dari Provinsi Sulawesi Selatan pada tahun 2004. Beberapa kecamatan di Kabupaten Mamuju merupakan daerah yang memiliki nilai laju dosis radiasi (radioaktivitas) tinggi^[1]. Nilai radioaktivitas yang tinggi yang dijumpai pada batuan gunung api Adang diperkirakan berasal dari keterdapatan kandungan mineral radioaktif alami^[2].

Nilai laju dosis alamiah yang tinggi di suatu daerah mencerminkan keterdapatan unsur radioaktif yang terkandung dalam batuan, seperti Uranium (U), Thorium (Th), dan Potasium (K), dan atau keterdapatan unsur anak luruhnya. Pada umumnya, keterdapatan mineral radioaktif terutama U dan Th sangat erat kaitannya dengan batuan beku asam baik batuan plutonik (granit atau granitoid) ataupun batuan gunung api (dasit - riolit), estimasi kadar rata-rata kandungan U dan Th pada beberapa bagian kerak bumi yang memiliki kaitan erat dengan jenis batuan penyusunnya^[3] tercantum pada Tabel 1.

Kabupaten Mamuju yang memiliki posisi paling barat dari Pulau Sulawesi dan tersusun oleh batuan gunung api dengan afinitas ultrapotasik/shoshonitik^[2] dan jenis basaltik-andesitik, dikelompokkan ke dalam satuan

batuan gunung api Adang^[4]. Keterdapatan nilai laju dosis radiasi yang tinggi memiliki penyebaran hampir merata sesuai dengan sebaran batuan gunung api Adang^[2].

Tabel 1. Estimasi kadar rata-rata kandungan U dan Th pada beberapa bagian kerak bumi yang berbeda^[3].

Reservoir	U (ppm)	Th (ppm)	References
CI Carbonaceous Chondrites	0.0074	0.002*	Plant et.al. (1999)
Eucrite meteorites	0.07 to 0.15	0.3 to 0.8	T. McCoy and L Nittlers, pers.com.
Bulk silicate earth	0.02	0.06*	Plant et.al (1999); Palme and O'Neill (2003)
Crust	1 to 2.7	~10	Taylor (1964); Plant, et al, (1999); Emsley (1991)
MORB	0.05 to 0.15	~0.15 to 0.45	Lunstrom (2003); Workman and Hart (2004)
OIB	1	3*	Plant, et.al (1999)
Granite	10	30	Plant, et.al (1999)
High-Grade Ore Deposits	10 ⁴ to 10 ⁵	10 ⁴	Plant, et.al (1999), Deer et.al, (1997)
Average Seawater	3 x 10 ⁻³	9 x 10 ⁻⁶	Miyake et.al, (1970); Emsley (1991); Chen and Wessergburg (1986)
Average river water	~10 ⁻⁴	~2.5 x 10 ⁻⁴	Bertine et.al (1970); Moore (1967); Windom et.al, (2000)

*Estimation from known U concentration and average U:Th ~1:3

Berdasarkan hasil interpretasi citra satelit dan pemetaan geologi lapangan maka satuan batuan gunung api Adang dapat dikelompokkan menjadi tujuh, yaitu kompleks Tapalang, Ampalas, Adang, Malunda, Karampuang, Sumare, dan Labuan Rano^[5]. Keterdapatan kandungan U dan Th yang tinggi pada batuan basaltik-andesitik belum pernah dijumpai di Indonesia sehingga hal ini

menjadi sangat menarik untuk di lakukan penelitian terutama tataan tektonik pembentukan batuan gunung api kompleks Adang.

Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui tipologi magmatik yang terkait dengan tataan tektoniknya dengan pendekatan geokimia batuan gunung api kompleks Adang menggunakan analisis *X-Ray Fluorescence* (XRF) dengan menggunakan analisis geokimia. Penelitian ini juga diharapkan dapat memberikan gambaran awal situasi tektonik dalam eksplorasi U dan Th pada batuan gunung api kompleks Adang.

Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian difokuskan pada sebaran Formasi Gunungapi Adang terutama kompleks Adang yang terletak di Kecamatan Mamuju dan Simboro Kabupaten Mamuju, Sulawesi Barat. Dari data *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) dapat diketahui bahwa daerah penelitian merupakan daerah dengan morfologi perbukitan hingga pegunungan yang memiliki kelerengan yang

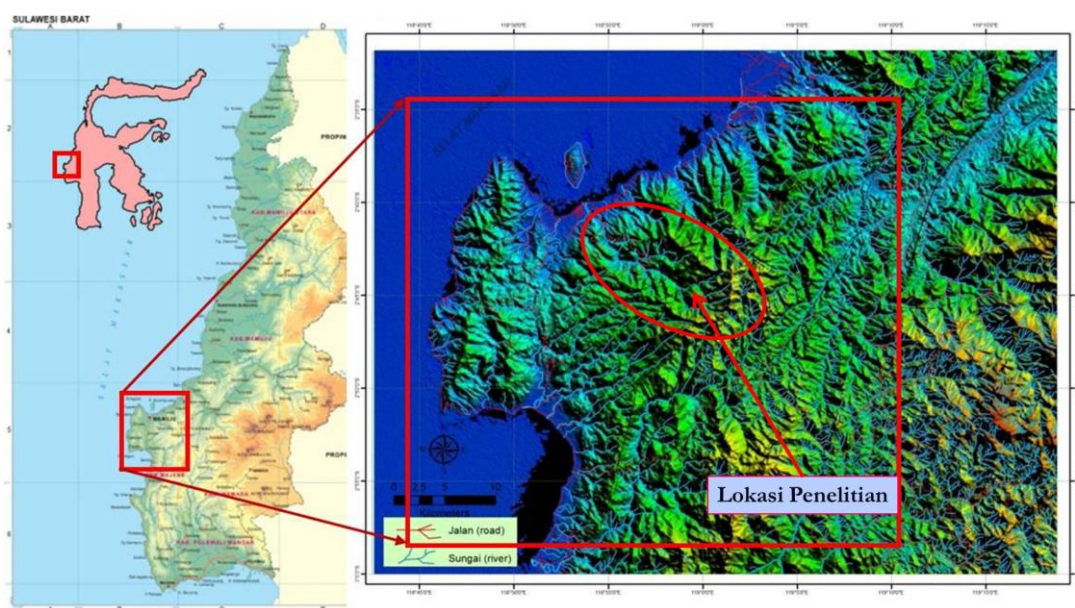
sangat curam. Perbukitan di daerah penelitian merupakan perbukitan yang membentuk kerucut dan beberapa tempat merupakan kaldera (Gambar 1).

Hipotesis

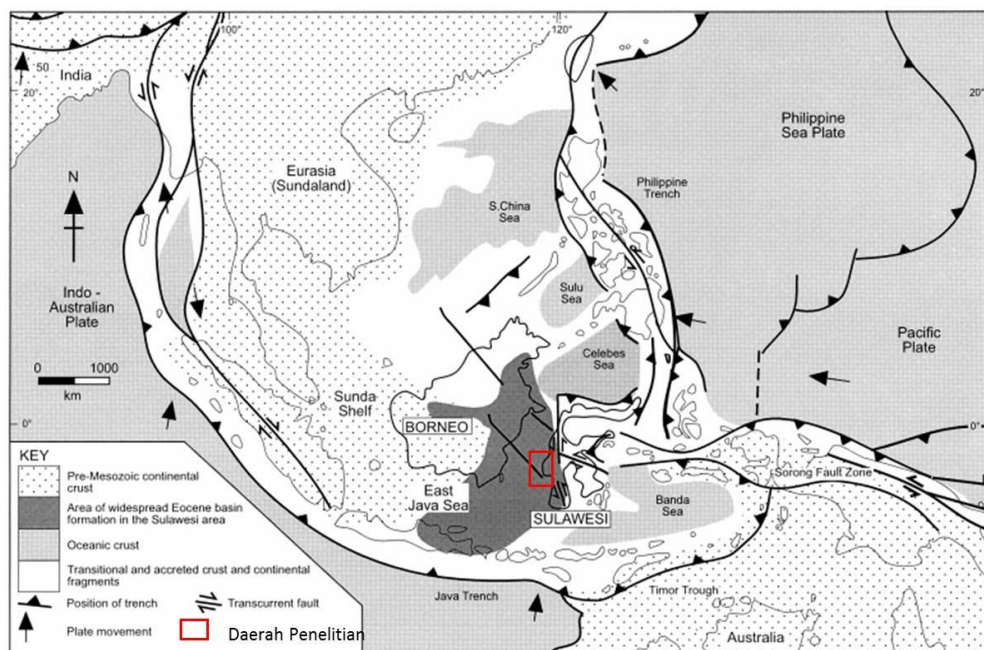
Batuan gunung api kompleks Adang merupakan batuan beku basal-intermediet yang terbentuk pada zona kerak benua aktif (*active continental margin*) pasca kolisi. Analisis geokimia batuan gunung api Adang diharapkan dapat memberikan informasi tataan tektonik pembentukannya.

PENYELIDIK TERDAHULU

Pulau Sulawesi secara geologi memiliki tataan yang sangat kompleks (Gambar 2). Tektonik yang sangat kompleks ini disebabkan oleh interaksi dari tiga lempeng yang bergerak aktif, yaitu Lempeng Benua Australia yang bergerak ke utara, pergerakan Lempeng Samudera Pasifik yang bergerak ke barat, dan Lempeng Benua Eurasia yang relatif bergerak ke selatan tenggara^[6].



Gambar 1. Lokasi penelitian dengan Citra SRTM daerah Mamuju, Sulawesi Barat.



Gambar 2. Tataan tektonik regional pulau Sulawesi dan Borneo serta sebaran daerah kratonik pre-Mesozoikum dan terbentuknya cekungan di Sulawesi^[6].

Pulau Sulawesi mengalami proses tektonik yang memiliki implikasi pada terbentuknya batuan gunung api di Sulawesi Barat^[7], yaitu :

- a. Pulau Sulawesi mengalami penunjaman berumur Paleosen ke arah barat yang diikuti aktivitas vulkanik yang menghasilkan batuan gunung api Formasi Bua/ Formasi Langi; di mana pada waktu tersebut Sulawesi masih bergabung dengan Pulau Kalimantan.
- b. Pada kurun waktu Eosen hingga Oligosen tidak dijumpai adanya aktivitas vulkanisme dan pada masa ini diinterpretasikan telah terjadi fasa transgresi yang menyebabkan terbentuknya endapan sedimen laut dangkal dengan pengendapan batuan karbonat yang cukup tebal (Formasi Tonasa)
- c. Pada Miosen Awal terjadi penunjaman kembali ke arah barat yang berkaitan dengan terbentuknya batuan gunung api Camba dengan afinitas kalk-alkali. Pada waktu yang bersamaan diduga telah terbentuk cekungan belakang busur (*back*

arc basin), yaitu cekungan Makasar yang terjadi akibat adanya rekahan kerak benua (*continental rifting*) yang memisahkan Pulau Kalimantan dan Pulau Sulawesi.

- d. Pada akhir Miosen Awal penunjaman ke arah barat terhenti dan terjadi Koalisi antara keping benua bagian barat dan timur Sulawesi yang diikuti dengan obduksi dari kerak samudra membentuk Formasi Kalimaseng.
- e. Akhir Miosen Tengah hingga Plistosen adalah periode vulkanisme dengan karakter potasium tinggi (shoshonitik – ultrapotasik), dimana vulkanisme ini tidak berkaitan dengan subduksi tetapi menunjukkan ciri-ciri perekahan (*distensional*) pada kerak yang ditandai dengan sesar bertingkat (*block faulting*) di Selat Makasar dan Tinggian Bone serta munculnya struktur horst dan graben pada bagian tengah lengan Selatan Sulawesi.

Pemisahan Pulau Sulawesi dan Pulau Kalimantan disebabkan oleh adanya pemekaran (*rifting*) Selat Makassar yang terjadi pada Eosen Tengah – Eosen Akhir.

Berdasarkan pemodelan data gaya berat diinterpretasikan bahwa alas dari selat Makassar dialasi oleh kerak samudra yang berumur Eosen^[8]. Beberapa penelitian menyatakan bahwa Cekungan Selat Makasar Utara bukan merupakan lokasi pemekaran Tersier tetapi cekungan tersebut merupakan hasil gaya kompresi yang menyebabkan terjadinya pemendekan (*shortening*) berarah barat-laut-tenggara yang merupakan hasil tumbukan benua-benua pada Neogen di Sulawesi Barat. Mandala Geologi Sulawesi Barat didominasi oleh batuan gunungapi dan batuan plutonik Miosen yang membentuk jalur gunungapi Tersier hasil dari tunjaman dari timur pada Neogen^[9] dan disebut juga sebagai busur gunungapi Sulawesi Barat.

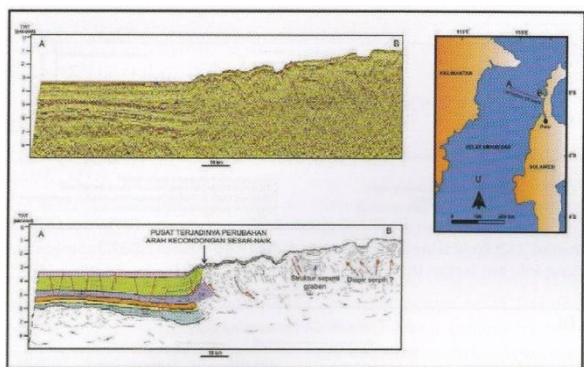
Interpretasi terhadap beberapa penampang seismik dan gaya berat untuk merekonstruksi pembentukan Selat Makasar yang menghasilkan enam tahapan tektonik^[10], yaitu:

- a. Pada Kapur Awal, terjadi subduksi kerak samudera ke arah Kalimantan bagian tenggara akibat gerakan ke barat laut kerak benua mikro SW Sulawesi (mikro-plate laut Jawa Timur) sehingga membentuk suatu kompleks akresi,
- b. Kapur Akhir, kerak benua mikro SW Sulawesi mengalami kolisi dengan SE Kalimantan. Kejadian ini menyebabkan pengangkatan pegunungan Meratus dan penggantian kompleks batuan alas. Selanjutnya kemenerusan pergerakan lempeng Pasifik menyebabkan terjadinya subduksi baru ke arah barat pada bagian timur SW Sulawesi dengan kerak samudera menunjam ke bawah kerak benua mikro SW Sulawesi
- c. Pada Paleosen, seluruh bagian pegunungan Meratus telah terangkat dengan terbentuknya *block faulting* dan di bagian

timur kerak benua mikro Banggai-Sula telah mendekat,

- d. Pada Eosen, terjadinya *vertical sinking* (penajaman sudut penunjaman akibat tekanan mantel atas) dari *slab* yang menunjam pada zona subduksi menyebabkan terjadinya pemekaran pada bagian *back arc* dan terjadilah pembukaan selat Makasar dengan pembentukan kerak samudera baru di selat Makasar,
- e. Pada Oligosen, kolisi ofiolit di bagian timur Sulawesi dengan kerak benua mikro SW Sulawesi menyebabkan terhentinya pemekaran di Selat Makasar dan berhentinya pembentukan kerak samudera baru di Selat Makasar,
- f. Pada Miosen Tengah – Akhir, terjadi kolisi kerak benua mikro Banggai-Sula dengan ofiolit bagian timur Sulawesi yang menyebabkan terjadinya penunjaman ganda di bagian timur dan di bagian barat, kerak samudera bagian dari Selat Makasar menunjam ke bawah kerak benua mikro SW Sulawesi yang menimbulkan vulkanisme Sulawesi Barat sedangkan kolisi di timur menyebabkan kompresi di bagian utara cekungan Selat Makasar yang berputar berlawanan arah jarum jam mengakibatkan struktur yang memiliki kemiringan ke barat.

Pada Eosen Tengah diduga terjadi bukaan Selat Makasar (fase ekstensi), sedangkan pada Miosen sampai sekarang terjadi fase kompresi yang menyebabkan terjadinya lajur lipatan dan Sesar Naik Majene dan Kalosi yang memiliki pola struktur condong ke barat sedangkan di Kalimantan Timur terbentuk lajur Lipatan dan Sesar Naik Samarinda yang memiliki struktur dengan kecenderungan ke arah timur^[11] (Gambar 3).



Gambar 3. Penampang seismik di Selat Makasar bagian Utara^[11].

Pada bagian pesisir pantai barat Sulawesi Tengah terhampar sebaran batuan gunungapi yang dipetakan sebagai Batuan gunungapi Adang^[4]. Batuan Gunungapi Adang tersusun atas tufa, lapili, breksi gunungapi, dan sisipan lava (basal leusit), batupasir, serta batulempung. Satuan batuan gunungapi ini memiliki ketebalan hingga 400 m, pada daerah selatan menjemari dengan Formasi Mamuju dan Anggota Tapalang Formasi Mamuju. Satuan ini diperkirakan berumur Miosen Tengah-Miosen Akhir.

Berdasarkan hasil pentarikan umur dengan metode K-Ar pada batuan di daerah Sungai Rangas (Mamuju) pada batuan *trachyte tuff* didapatkan umur mineral sanidin (sn) $5,4 \pm 0,2$ Ma, pada batuan lava leusit shoshonitik mineral sanidin (sn) berumur $5,3 \pm 0,2$ Ma dan pada batuan leusit *shoshonitic vitric tuff* didapatkan umur mineral biotit $2,4 \pm 0,1$ Ma^[12]. Batuan gunung api dan plutonik yang bersifat kalk-alkali potasik hingga ultrapotasik di bagian barat Sulawesi diinterpretasikan terbentuk akibat pelelehan pada litosfer akibat kolisi pada bagian timur yang terbentuk mulai 2-18 Ma, atau juga dapat terbentuk akibat pelelehan pada umur Miosen dimana kerak pada Proterozoik Akhir-Paleozoik dan mantel atas terpanaskan oleh kolisi antara kerak benua yang merupakan tepi barat Australia-Nugini menjam di bawah bagian timur Sundaland.

Gaya kompresi tersebut masih menerus hingga Pliosen bahkan hingga saat ini menghasilkan lipatan, sesar naik, dan pengangkatan regional dengan kecepatan 200-700 m/juta tahun sehingga bagian barat sulawesi dimana terbentuk perlipatan dan sesar naik Majene merupakan bagian yang sangat penting.

Terdapat perbedaan pendapat mengenai genesis batuan gunung api di Sulawesi Barat, yaitu batuan volkanik di Lengan Selatan Sulawesi terbentuk akibat *continental rifting* dimana mantel yang naik ke permukaan telah mengalami metasomatisme oleh sisa *slab* dari subduksi sebelumnya yang telah terhenti pada Pliosen^[7,13] sedangkan beberapa penelitian menunjukkan bahwa batuan gunung api tersebut terbentuk pada tataan tektonik *active-continental margin* sesuai dengan sumber magma yang berasal dari pelelehan mantel akibat subduksi yang telah terhenti^[11]. Hal ini menunjukkan bahwa masih diperlukannya data penunjang yang dapat memberikan gambaran tataan tektonik pembentukan batuan gunung api di Sulawesi, terutama kompleks Adang secara lebih pasti.

METODE PENELITIAN

Penelitian diawali dengan kajian pustaka dengan mengkaji berbagai aspek, baik dari konsep tektonik dan konsep magmatisme yang telah terbangun, baik di Sulawesi Barat maupun pada Mandala Geologi Sulawesi Barat, interpretasi DEM-SRTM dan citra landsat 8 untuk selanjutnya dilakukan kegiatan lapangan. Kegiatan lapangan dilakukan dengan pemetaan geologi untuk mengetahui penyebaran litologi permukaan di daerah penelitian yang difokuskan pada sebaran batuan gunung api, terutama batuan gunung api kompleks Adang.

Pada kegiatan lapangan dilakukan pengambilan contoh batuan segar untuk

digunakan dalam analisis petrografi dan analisis kimia oksida unsur utama menggunakan *X-Ray Fluorescence* (XRF). Selanjutnya data tersebut digunakan untuk melakukan interpretasi tataan tektonika pembentukan gunung api kompleks Adang.

GEOLOGI DAERAH PENELITIAN

Berdasarkan hasil pemetaan geologi lapangan dan pengamatan petrografi maka batuan penyusun daerah penelitian secara umum tersusun oleh kelompok batuan plutonik, sedimen tua, batuan gunung api serta batuan sedimen muda. Batuan intrusi di daerah penelitian dijumpai pada dua lokasi, yaitu di Sungai Ampalas yang terdapat di Desa Ampalas, Kecamatan Kalukku. Batuan sedimen tua yang tersingkap di daerah ini adalah batuan sedimen gunung api berupa batulempung dan batupasir berlapis.

Batuan gunung api di daerah penelitian memiliki variasi yang sangat beragam baik dari jenis maupun komposisi. Berdasarkan data geologi regional, batuan gunung api yang terdapat di daerah penelitian merupakan kelompok batuan gunung api Talaya dan kelompok batuan gunung api Adang. Pada penelitian ini hanya dilakukan pengamatan, analisis, dan interpretasi detil terhadap satuan batuan gunung api Adang. Berdasarkan hasil interpretasi citra satelit dan pemetaan geologi lapangan maka satuan batuan gunung api Adang dapat dikelompokkan menjadi tujuh satuan batuan, yaitu kompleks Tapalang, Ampalas, Adang, Malunda, Karampuang, Sumare, dan Labuan Rano. Selanjutnya pengamatan lebih detil dan pengambilan

sampel dilakukan pada batuan gunung api kompleks Adang (Gambar 4).

Batuan sedimen yang lebih muda didominasi oleh produk klastika gunung api dan batuan karbonat. Batuan sedimen ini dapat dibedakan menjadi beberapa satuan. Satuan tertua adalah satuan batugamping kristalin bagian atas yang terdiri dari batugamping terumbu yang telah mengalami kristalisasi dan sebagian telah berubah (terkarsikkan) sehingga sebagian komponen batugamping telah berubah menjadi silika. Batuan ini diperkirakan memiliki umur yang hampir sama dengan batuan gunung api. Sedimen yang lebih muda adalah batuan konglomerat gunung api yang terbentuk di daerah ini dan merupakan hasil rombakan atau longsoran batuan gunung api yang bersifat *grain supported*.

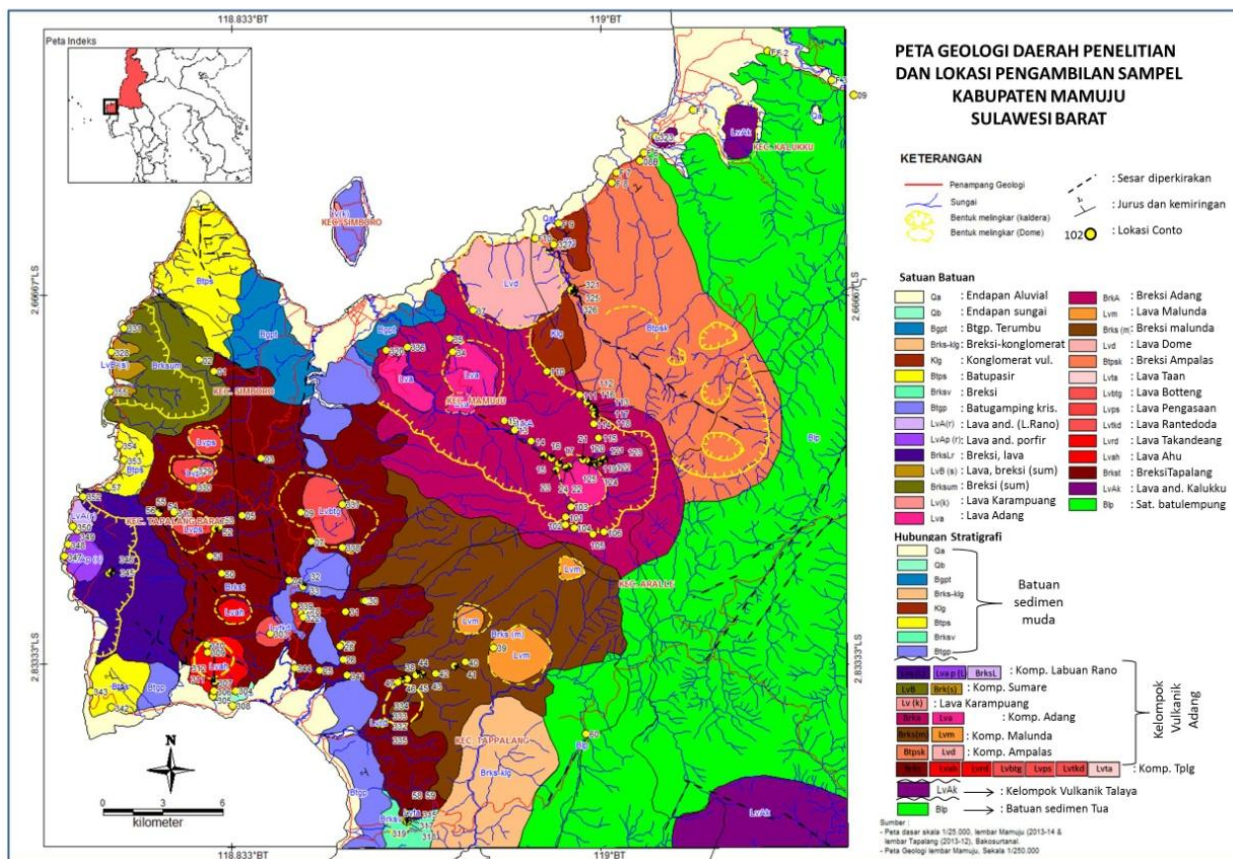
Selanjutnya terdapat batupasir yang tersusun atas batupasir dan batulanau berlapis dengan komposisi material gunung api. Batupasir kasar memiliki perlapisan dengan ketebalan 50 cm hingga 5 m.

Satuan batugamping terumbu sangat mudah dijumpai di daerah dekat pantai. Batuan yang tersingkap dengan elevasi yang cukup tinggi merupakan penciri terjadinya pengangkatan yang cukup signifikan seperti di Pulau Karampuang.

Satuan selanjutnya merupakan endapan sedimen muda yang belum mengalami litifikasi dengan baik, yaitu endapan aluvium berupa konglomerat yang terbatas pada daerah teras pantai, dataran Tapalang, dan dataran di Kota Mamuju. Peta Geologi daerah penelitian tertera pada Gambar 5.



Gambar 4. Penampakan lapangan batuan gunung api sebagai hasil kegiatan kelompok komple gunung api Adang; (a). Kenampakan tebing morfologi di hulu Sungai Mamuju; (b). Breksi piroklastik di hilir Sungai Mamuju (bukit Kelapa Tujuh); (c). Lava basal membentuk kekar kolom (dengan kekar pendinginan); (e). Manifestasi air panas di hulu Sungai Mamuju.



Gambar 5. Peta geologi daerah penelitian^[5].

Dari seluruh contoh batuan yang terambil, dipilih beberapa contoh yang merupakan batuan basal sehingga dapat mencerminkan magma asalnya, serta contoh batuan yang dianggap memiliki nilai hasil pengukuran yang akurat dengan jumlah total oksida mayor mendekati nilai 100 wt.% (dengan toleransi ± 2 %). Penyajian data hasil analisis XRF seperti pada Tabel 2. Selanjutnya analisis oksida mayor pengeplotan pada Total Alkali Silika (TAS) untuk mengetahui jenis batuan^[14], penyusun kompleks seluruh gunungapi di Mamuju (Gambar 6).

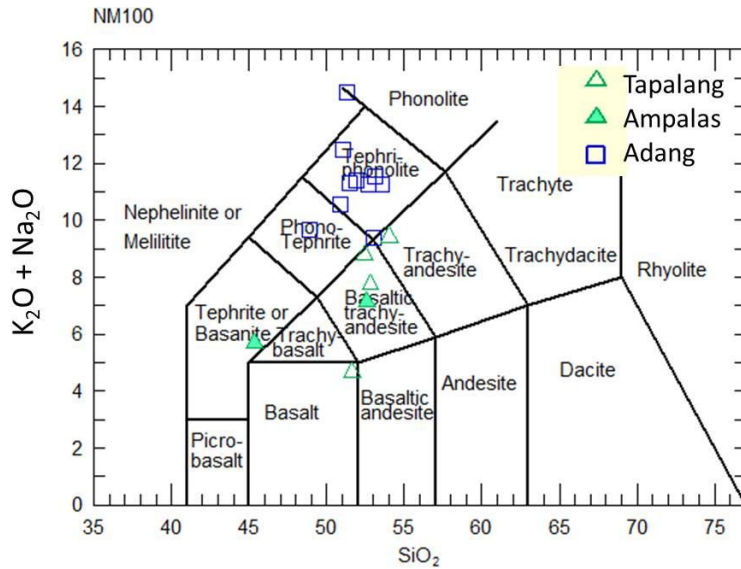
Dari diagram tersebut diketahui bahwa batuan penyusun kompleks gunungapi di Daerah Mamuju sangat bervariasi sehingga harus dipilih contoh batuan basal yang sangat

segar. Secara umum batuan basa tersebut lebih didominasi jenis *tephrite*, *tephriponolite*, *phonotephrite*, dan *phonolite*. Jenis batuan yang beragam dalam suatu kompleks gunungapi menunjukkan adanya berbagai faktor yang mempengaruhi terbentuknya batuan tersebut, antara lain sumber magma, tingkat kristalisasi, sistem diferensiasi magma, waktu, suhu dan tekanan pembentukan magma, jumlah *volatile* yang berpengaruh, serta tataan tektonik daerah busur gunung api tersebut. Salah satu faktor yang penting adalah sifat alkalinitas suatu batuan sehingga dapat digunakan untuk mengetahui tataan tektonik pembentukan batuan tersebut. Hasil pengeplotan berdasarkan diagram Biner K_2O v.s. SiO_2 ^[14] dapat dilihat pada Gambar 7.

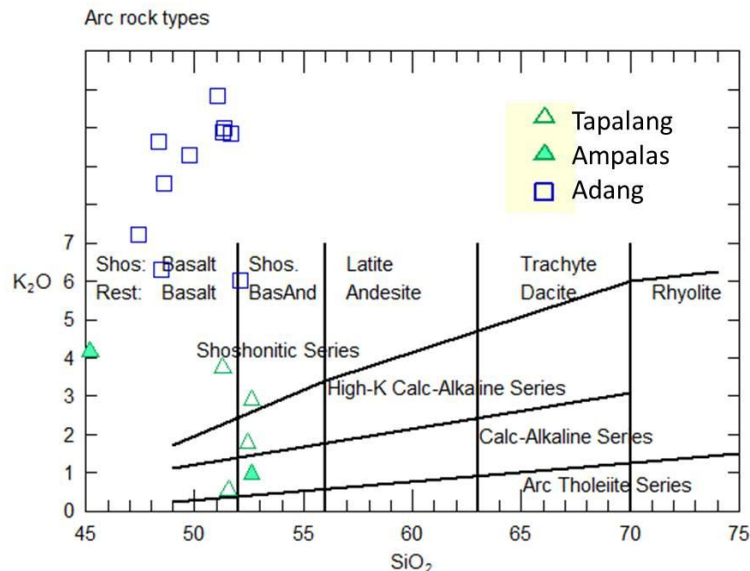
Tabel 2. Hasil analisis XRF batuan basa sangat segar yang digunakan untuk analisis tataan Tektonik daerah Mamuju tanpa normalisasi dan tanpa dilakukan koreksi LOI.

Simbol	MJU 4	MJU 24	MJU 27	MJU 37	MJU 38A	MJU 51	MJU 118	MJU 121	MJU 327	MJU 331
Komp.	Tplg	Adg	Tplg	Adg	Tplg	Tplg	Adg	Adg	Ampls	Tplg
Satuan	(Wt. %)	(Wt. %)	(Wt. %)	(Wt. %)	(Wt. %)	(Wt. %)	(Wt. %)	(Wt. %)	(Wt. %)	(Wt. %)
SiO ₂	51,56	51,29	52,62	52,12	52,43	51,28	48,58	49,76	52,61	51,49
TiO ₂	2,565	1,306	2,483	1,587	1,112	2,039	1,866	1,736	1,059	1,426
Al ₂ O ₃	12,4	15,27	12,78	14,98	23,33	16,86	10,64	10,99	8,824	12,74
Fe ₂ O ₃	12,87	9,446	15,58	11,15	8,885	15,23	13,88	10,78	8,066	10,66
MnO	0,117	0,2473	0,1874	0,3328	0,1087	0,2974	0,204	0,2373	0,1499	0,2397
MgO	11,35	3,93	3,147	4,098	1,97	4,49	8,098	6,631	4,247	3,519
CaO	4,499	6,157	2,799	5,328	3,705	0,5494	5,087	5,682	17,82	7,429
Na ₂ O	4,11	2,65	6,26	3,21	6,99	3,76	1,051	1,061	6,18	2,323
K ₂ O	0,539	9,882	2,906	6,028	1,777	3,746	8,541	9,278	0,975	8,713
P ₂ O ₅	1,144	1,295	0,165	0,643	0,5585	0,379	2,727	2,673	0,9196	1,333
TOTAL	101,15	101,47	98,93	99,48	100,87	98,63	100,67	98,83	100,85	99,87
Satuan	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)
V	445,4	154,2	303,5	< 1,0	71,4	53,8	1115	325,9	192,5	240,9
Cr	< 1,0	4,3	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	144,7	123,8	245,6	101,3
Co	87	42	115	26	24	86	84	7	33	46
Ni	< 4,2	< 0,5	< 0,5	< 0,5	14,6	< 0,5	24,7	10,2	52	34,1
Cu	269,1	132,4	45,9	194,3	126,6	210,1	77,3	155,9	98,3	136,6
Zn	180,8	93	126,6	147,9	109,7	296,2	195,2	209	78,9	116
Ga	11,3	18,6	27,7	22,4	21	27,8	17,9	18,2	21,7	7,7
Rb	362	704,2	770,3	1115	5287	772,5	568,5	276,2	416,3	579,1
Sr	946,1	2019	844	1433	812,4	356,1	962,2	1785	1317	1512
Y	86,6	48,5	146,9	91,7	193,9	150,2	458,1	129,2	33	65,1
Zr	1823	799,6	3325	1449	834,3	2465	1048	2324	437	899,5
Nb	108,3	54,3	210,5	110,2	50,9	199,7	102,5	65,9	22,8	65,5
Ba	6591	4202	6608	20720	8891	30590	3776	3277	2417	4525
La	362,5	189,7	399,6	202,4	382,4	339,6	2747	377,9	207,8	276,1
Ce	706,9	384,8	774,9	335	378,9	547,4	4274	808,3	369,6	510,1
Nd	98,8	67,6	124,2	< 5,1	148,9	< 5,1	894,1	203,2	220,6	200,5
Sm	66	46,2	83,9	3,3	71,3	41,2	155,4	83,4	36,3	41,6
Pb	364,1	140,6	234,2	246,2	190,6	380,8	826,1	278,3	123,4	162,6
Th	330,5	123,2	482,9	234,9	214,8	360,1	1100	888,1	86,9	161,3
U	745,8	29,9	38,7	51	37,2	63,5	204,5	651,8	21,8	51,3

Wt = weight



Gambar 6. Variasi batuan penyusun gunung api daerah Mamuju berdasarkan diagram TAS (*Total Alkali Silica*)^[14].



Gambar 7. Diagram SiO_2 vs K_2O afinitas batuan gunung api dari kompleks Tapalang, Ampalas, dan Adang^[14].

Dari Gambar 7 diketahui bahwa afinitas batuan basaltik penyusun batuan gunung api kompleks Adang merupakan batuan ultrapotasik. Batuan ultrapotasik dengan kandungan K_2O sangat tinggi tersebut, juga berasosiasi dengan deret shoshonitik dan *Calc-Alkaline*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari hasil analisis geokimia, selanjutnya untuk mengetahui tataan tektonik pembentukan batuan gunungapi gunung api

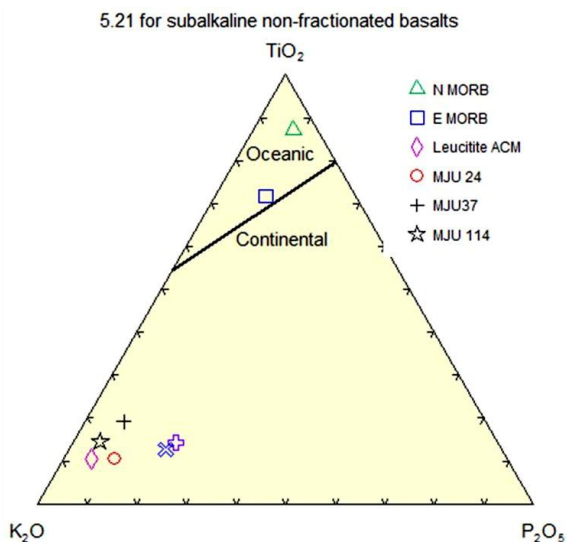
komplek Adang maka dilakukan perbandingan batuan basaltik Komplek Adang dengan batuan basaltik yang merupakan representasi dari N-MORB, E-MORB dan *leucitite* dari *Vulsini, Roman Province, Italy*^[14] yang dibandingkan dengan contoh yang mewakili batuan gunung api kompleks Adang, yaitu contoh MJU 24, MJU 37 dan MJU 114. Daftar hasil analisis perbandingan terdapat pada Tabel 3.

Tabel 3. Perbandingan kadar unsur yang mewakili contoh N-MORB, E-MORB, ACM dengan contoh dari kompleks Adang, Mamuju^[14].

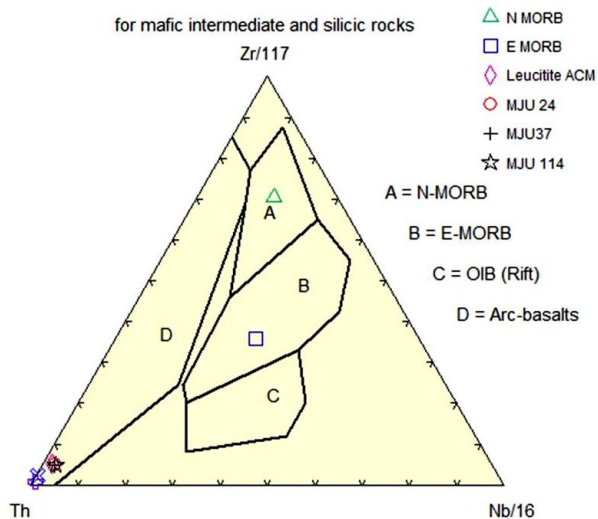
Simbol	N-MORB	E-MORB	<i>Leucitite</i> (ACM)	MJU 24	MJU 37	MJU 114
Komp.			(Wilson, 1989)	Adang	Adang	Adang
Satuan	(Wt. %)	(Wt. %)	(Wt. %)	(Wt. %)	(Wt. %)	(Wt. %)
SiO ₂	0	0	47,1	51,29	52,12	51,04
TiO ₂	1,27	1,001	0,81	1,31	1,59	1,97
Al ₂ O ₃	0	0	15,56	15,27	14,98	13,63
Fe ₂ O ₃	0	0	3,16	9,45	11,15	12,92
MnO	0	0	0,15	0,25	0,33	0,25
MgO	0	0	6,04	3,93	4,10	2,11
CaO	0	0	12,67	6,16	5,33	3,76
Na ₂ O	0	0	1,5	2,65	3,21	3,59
K ₂ O	0,072	0,253	6,54	9,88	6,03	10,84
P ₂ O ₅	0,117	0,142	0,45	1,29	0,64	0,72
TOTAL			93,98	101,47	99,48	100,8258
Satuan	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)
V	0	0	198	154,2	< 1,0	320,7
Cr	0	0	22	4,3	< 1,0	33
Co	0	0	0	42	26	24
Ni	0	0	64	< 0,5	< 0,5	< 0,5
Cu	0	0	0	132,4	194,3	192,3
Zn	0	0	0	93	147,9	193,3
Ga	0	0	0	18,6	22,4	20,8
Rb	0,56	5,04	558	704,2	1115	590,8
Sr	90	155	1278	2019	1433	1826
Y	28	22	42	48,5	91,7	89,5
Zr	74	73	308	799,6	1449	1674
Nb	2,33	8,3	16	54,3	110,2	134,1
Ba	6,3	57	1161	4202	20720	7216
La	2,5	6,3	77	189,7	202,4	221,7
Ce	7,5	15	16	384,8	335	436,7
Nd	7,3	9	69	67,6	< 5,1	34,9
Sm	2,63	2,6	12,4	46,2	3,3	48,6
Pb	0,3	0,6	0	140,6	246,2	343,4
Th	0,12	0,6	46,8	123,2	234,9	268,7
U	0,047	0,18	10,3	29,9	51	83,8

Diagram yang digunakan dalam menentukan pengaruh kerak benua/samudera pada pembentukan batuan gunung api kompleks Adang adalah *ternary diagram* hasil plot K₂O-P₂O₅-TiO₂^[15]. Plot K₂O-P₂O₅-TiO₂ menunjukkan bahwa contoh N-MORB dan E-MORB sangat dipengaruhi oleh kerak samudera sedangkan contoh *leucitite* dari ACM *Roman Province, Italy* dan tiga contoh dari kompleks Adang menunjukkan produk gunung api-magmatik berasal dari kerak benua (Gambar 8).

Selanjutnya dilakukan plotting menggunakan Diagram Zr/117-Th-Nb/16^[15] (Gambar 9). Diagram Zr/117-Th-Nb/16 menunjukkan bahwa seluruh batuan basaltik shoshonitik yang berasal dari kompleks Adang, merupakan *arc-basalt*^[15].



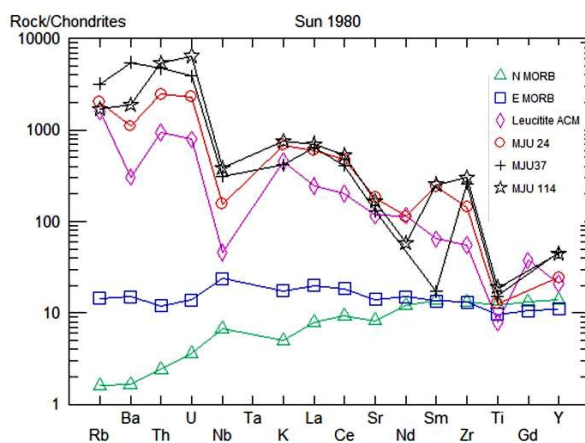
Gambar 8. Hasil plot pada diagram $K_2O-P_2O_5-TiO_2$ [15].



Gambar 9. Diagram $Zr/117-Th-Nb/16$ menunjukkan bahwa seluruh batuan basaltik merupakan *arc-basalt* [15].

Penggunaan data kimia oksida unsur utama, unsur jejak, dan logam tanah jarang sangat umum digunakan dalam interpretasi tektonik. Batuan ultrapotasik yang dapat terbentuk dibedakan menjadi tiga golongan, yaitu kelompok I berasal dari kimberlit dengan magma asal berasal dari OIB, kelompok II adalah kimberlit yang berasal dari *continental*, dan kelompok III adalah batuan ultrapotasik yang terbentuk pada *active continental margin (ACM)* [14]. Ketiga

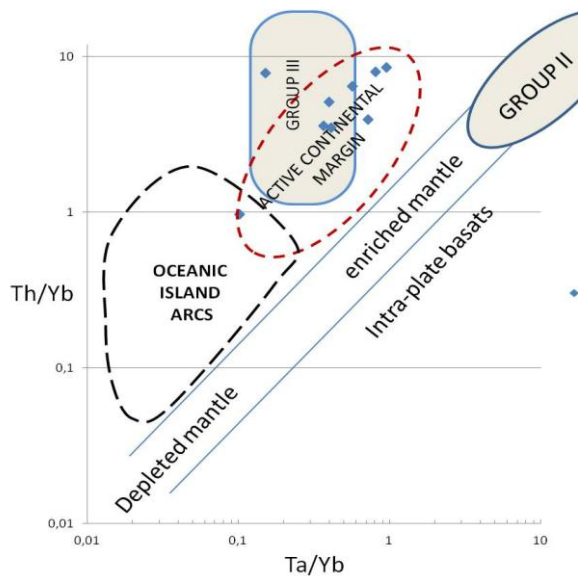
kelompok batuan tersebut memiliki karakteristik unsur jejak yang berbeda-beda. Salah satu batuan ultrapotasik yang terbentuk pada tataan tektonik *active continental margin* adalah *leucite* basanite, magnesian leusit, dan *leucitite* dari *Vulsini, Roman Province, Italia* [14]. Untuk itu juga dilakukan normalisasi *chondrite* (referensi normnya) menggunakan unsur jejak dengan mengplotkan ke dalam *spider diagram* contoh tersebut yang dibandingkan dengan contoh batuan gunung api kompleks Adang [14] (Gambar 10).



Gambar 10. Pola unsur jejak dari normalisasi *chondrite* (referensi normalisasi yang digunakan) sampel NMORB, EMORB, *Leucitite* dan batuan gunung api kompleks Adang, Mamuju.

Berdasarkan diagram tersebut maka diketahui bahwa batuan gunung api kompleks Adang terbentuk identik dengan batuan dari *Vulsini, Roman Province, Italy* [15]. Selain itu, dilakukan analisis menggunakan diagram rasio Th/Yb vs. Ta/Yb untuk mendapatkan karakterisasi sumber magma dari mantel sebagai penyusun batuan gunung api yang berhubungan dengan proses subduksi. Analisis tersebut juga dapat membedakan asal batuan basaltik, apakah merupakan produk *island arc* atau *active continental margin* [14] (Gambar 11). Berdasarkan analisis menggunakan diagram rasio Th/Yb vs. Ta/Yb

diketahui bahwa batuan ultrapotasik yang berasal dari komplek Adang terbentuk pada *active continental margin* (ACM) dengan kerak benua adalah kerak benua mikro SW Sulawesi.



Gambar 11. Diagram Ta/Yb vs. Th/Yb untuk menentukan tataan tektonik batuan ultrapotasik^[14].

KESIMPULAN

Berdasarkan data lapangan, analisis petrografi dan geokimia oksida unsur utama dan unsur jejak dapat disimpulkan bahwa batuan gunung api komplek Adang tersusun atas batuan *trachyte*, *tephra-phonolite*, *phono-tephrite* dan *phonolite* dengan afinitas ultrapotasik yang terbentuk pada tataan tektonik benua aktif (*active continental margin/ ACM*) dengan kerak benua mikro blok SW Sulawesi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Teknik Geologi UGM atas segala masukan secara keilmuan yang sangat mendukung penulisan naskah ini dan Tim Survei Mamuju yang telah membantu pengambilan data lapangan serta DIPA PTBGN-BATAN tahun 2015.

DAFTAR PUSTAKA

1. ISKANDAR, D., SYARBAINI dan KUSDIANA, "Map of Environmental Gamma Dose Rate of Indonesian", PTKMR-BATAN, tidak dipublikasikan, 2007.
2. SYAEFUL, H., SUKADANA, I.G., dan SUMARYANTO, A., "Radiometric Mapping for Naturally Occurring Radioactive Materials (NORM) Assessment in Mamuju, West Sulawesi", *Atom Indonesia*, **40-1**, 33-39, 2014.
3. HAZEN, R.M., EWING, R.C., dan SVERJENSKY, D.A., "Evolution of Uranium and Thorium Minerals", *American Mineralogist*, **94**, 1293–1311, 2009.
4. RATMAN, N. dan ATMAWINATA, S., "Peta Geologi Indonesia Lembar Mamuju dan Sekitarnya, Sulawesi", Skala (1:250.000), Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung, 1993.
5. SUKADANA, I.G., INDRAMSTOMO, F.D., ISWANTO, R., TUKIJO, dan UMAR, S., "Laporan Teknis: Inventarisasi Uranium dan Thorium di Mamuju, Sulawesi Barat, Tahapan Survei Pendahuluan", tidak dipublikasikan, 2014
6. WILSON, M.E.J. dan MOSS, S.J., "Cenozoic Paleogeographic Evolution of Sulawesi and Borneo", *Palaeogeography, Palaeoclimatology and Palaeoecology* **145**, 303–337, 1999.
7. YUWONO, Y.S., BELLON, H., SOERIA-ATMADJA, R., and MAURY, R.C., "Neogene and Pleistocene Volcanism in South Sulawesi", *Proceeding PIT XIV Ikatan Ahli Geologi Indonesia*, Jakarta, 169-179, 1985.
8. CLOKE, I. R., CRAIG, J. dan BLUNDELL, D. J., "Structural Controls

- on Hydrocarbon and Mineral Deposits within the Kutai Basin, East Kalimantan". In: MCCAFFREY, K. J. W., LONERGAN, L. & WILKINSON, J. J. (eds) *Fractures, Fluid Flow and Mineralization*, Geological Society, London, Special Publications, **155**, 213-232, 1999.
9. SURONO dan HARTONO, U., "Geologi Sulawesi", Pusat Survei Geologi, Badan Geologi, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, LIPI Press., Jakarta, 2013.
 10. GUNTORO, A., "The Formation of the Makassar Strait and the Separation between SE Kalimantan and SW Sulawesi", *Journal of Asian Earth Sciences*, **17**, 79-98, 1999.
 11. PUSPITA, S.D., HALL, R., and ELDERS, C.F., "Structural Styles of the Offshore West Sulawesi Fold Belt, North Makasar Strait, Indonesia". *Proceeding In donesia Petroleum Association 30th Annual Convention*, 519-542, 2005.
 12. BERGMAN, S. C., COFFIELD, D. Q., TALBOT, J. P. and GARRARD, R. A., "Tertiary Tectonic and Magmatic Evolution of Western Sulawesi and the Makassar Strait, Indonesia: Evidence for a Miocene Continent-Continent Collision", In: *Tectonic evolution of Southeast Asia* (eds Hall, R. dan Blundell, D. J.), Geology Society of London. Special Publication, **106**, 391-429, 1996.
 13. LETERRIER, J., YUWONO, Y.S., SOERIA-ATMADJA, and R., MAURY, R.C., "Potassic Volcanism in Central Jawa and South Sulawesi, Indonesia", *Journal Southeast Asian Earth Sciences*, **4**, 171-187, 1990.
 14. WILSON, M., "Igneous Petrogenesis, Springer", Netherlands, 1989.
 15. ROLLINSON, H., "Using Geochemical Data: Evaluation, Presentation, Interpretation", Longman Group Limited, Totenham, 1993.