

Geokimia Batuan Gunungapi di Pulau Timor Bagian Barat dan Impikasi Tektoniknya

Geochemistry of the Volcanic Rock of West Timor and Its Tectonic Implication

Joko Wahyudiono*, Ildrem Safri**, Adjat Sudrajat** dan Hermes Panggabean***

*Mahasiswa Program Doktor, Universitas Padjadjaran-Bandung, joko_wh001@yahoo.com

**Teknik Geologi, Universitas Padjadjaran-Bandung, ildrem.s@unpad.ac.id

***Pusat Survei Geologi, Jl. Diponegoro 57-Bandung, hermespanggabean@yahoo.com

Naskah diterima : 04 Oktober 2016, Revisi terakhir : 10 November 2016, Disetujui : 11 November 2016

Abstrak - Geologi wilayah Timor bagian barat berasal dari tiga mintakat yaitu Mintakat Benua Australia, Mintakat Busur Banda dan batuan yang terendapkan setempat. Pengambilan dan analisis conto batuan di Sungai Fatu dan Kompleks Mutis serta tambahan data sekunder dari Sungai Metan, Pulau Atauro dan batuan hasil *Deep Sea Drilling Project* (DSDP) bertujuan untuk mengetahui batuan asal wilayah Timor berdasarkan data geokimia batuan gunungapi dan implikasi tektoniknya. Metodologi analisis geokimia yang digunakan adalah *X-ray fluorescence* (XRF) dan *Inductively Coupled Plasma–Mass Spectrometry* (ICP-MS) untuk mengetahui unsur utama, unsur jejak dan unsur tanah langka dari batuan gunungapi. Unsur-unsur ini digunakan untuk klasifikasi batuan dan lingkungan tektoniknya.

Hasil analisis geokimia conto batuan gunungapi dari Sungai Fatu dan DSDP berasal dari Benua Australia, sementara conto batuan dari Kompleks Mutis dan Sungai Metan menunjukkan Benua Asia atau Busur Banda seperti pada Pulau Atauro. Batuan basal dari Sungai Fatu terendapkan menjemari dengan batugamping Formasi Maubise berumur Perem dan merupakan *Oceanic Island Basalt*. Batuan basal dari *Deep Sea Drilling Project* (DSDP) secara geokimia termasuk subalkalin yang berasal dari pematang tengah samudera (*Normal Mid Oceanic Ridge Basalt*) berumur Jura.

Kompleks Mutis pada Oligosen Miosen mengawali kolisi antara Benua Asia dengan Benua Australia. Batuan metabasal Kompleks Mutis menunjukkan komposisi kalk-alkalin yang mencirikan busur kepulauan. Conto batuan dari Sungai Metan dan Pulau Atauro terutama menunjukkan komposisinya subalkaline. Puncak kegiatan kolisi terjadi pada Akhir Miosen – Awal Pliosen dan berlanjut hingga sekarang. Busur Banda bagian dalam sebagian gunungapinya sudah tidak aktif lagi seperti yang terjadi pada Pulau Atauro.

Kata kunci - geokimia, batuan gunungapi, mintakat, tektonik, kolisi, Timor

Abstract - *Geology of West Timor composed of three origin of terrains namely Australian terrain, Asiatic (Banda Arc) terrain and the rocks deposited locally. Sampling and analyses of the rocks from Fatu River and Mutis Complex with addition from Metan River, Atauro Island and Deep Sea Drilling Project (DSDP) result would be valuable for determining the origin and its tectonic implication based on geochemical analyses. Analytical method using in this research are an X-ray fluorescence (XRF) and an Inductively Coupled Plasma–Mass Spectrometry (ICP-MS) for determining major element, trace and rare-earth that usable to define the rocks classifications, spider diagrams and its tectonic environment.*

Base on geochemical analyses of the volcanic rock of the Fatu River and DSDP Project both were derived from Australian Continent, while samples from Mutis Complex, Metan River and Atauro Island were originated from Asiatic (Banda terrain). Volcanic rocks from Fatu River were deposited interfingering with limestone of the Maubise Formation during Permian and its deposited as an Oceanic Island Basalt. The rocks from Deep Sea Drilling Project (DSDP) are geochemically subalkaline and were deposited within Mid Oceanic Ridge in the Jurassic time.

Mutis complex were commenced the collision between Asiatic Continent and Australian Continent in the Oligocene-Miocene time. Metabasite from Mutis complex perform a kalk-alkaline composition that characterized of the Island arc. Samples from Metan River and Atauro Island show a subalkaline/tholeiitic. The peak of collision was Late Miocene – Early Pliocene and continue until recent time. Some volcanic centre in the inner arc of the Banda Arc were not active similar to like Atauro Island.

Keyword - *geochemistry, volcanic rocks, terrain, tectonics, collision, Timor*

METODOLOGI

Conto batuan yang diperoleh di lapangan dipreparasi dan dianalisis di laboratorium Pusat Survei Geologi, Bandung untuk mengetahui unsur oksida utama, unsur tanah jarang dan langka.

X-ray Fluorescence (XRF) untuk Unsur Oksida Utama

Spektrometer *X-ray fluorescence* adalah suatu alat x-ray yang digunakan untuk analisis kimia batuan, mineral, sedimen dan cairan (Agung, 2016; Rollinson, 1993). Spektrometer bekerja pada panjang gelombang dispersif spektroskopi. XRF umumnya tidak dapat membuat analisis pada titik ukuran kecil pada pekerjaan EPMA (2-5 mikron). Oleh karenanya XRF biasanya digunakan untuk analisis fraksi lebih besar pada penelitian geologi. Karena kemudahan dalam penyiapan sampel dan stabilitas serta kemudahan dalam penggunaannya *x-ray* spektrometer menjadi salah satu metode yang paling banyak digunakan untuk analisis unsur oksida utama dan unsur jejak pada batuan, mineral, dan sedimen.

Inductively Coupled Plasma–Mass Spectrometry (ICP-MS) untuk Unsur Tanah Jarang/Langka

Inductively Coupled Plasma (ICP) adalah sebuah teknik analisis yang digunakan untuk mengetahui kadar unsur tanah jarang/langka contoh batuan (Agung, 2016; Rollinson, 1993). ICP-MS memiliki kemampuan untuk membedakan antara massa dari berbagai elemen isotop jika terdapat lebih dari satu isotop stabil. Kelebihan dari ICP-MS di antaranya adalah kemampuan pembacaan berbagai unsur, sensitivitas tinggi, dan kemungkinan untuk memperoleh informasi unsur isotop.

Data unsur oksida utama, unsur tanah jarang/langka dapat digunakan untuk menentukan komposisi batuan secara geokimia, komposisi dengan geokimia dalam kaitannya dengan evolusi magmatik serta lingkungan tektonik pembentukan batuan. Data geokimia bisa ditampilkan dan diolah dengan perhitungan secara manual atau menggunakan perangkat lunak GCD-Kit versi 4.1 (Janousek, 2006). Sedangkan unsur jarang dan tanah langka menurut diagram yang dipakai.

GEOLOGI REGIONAL

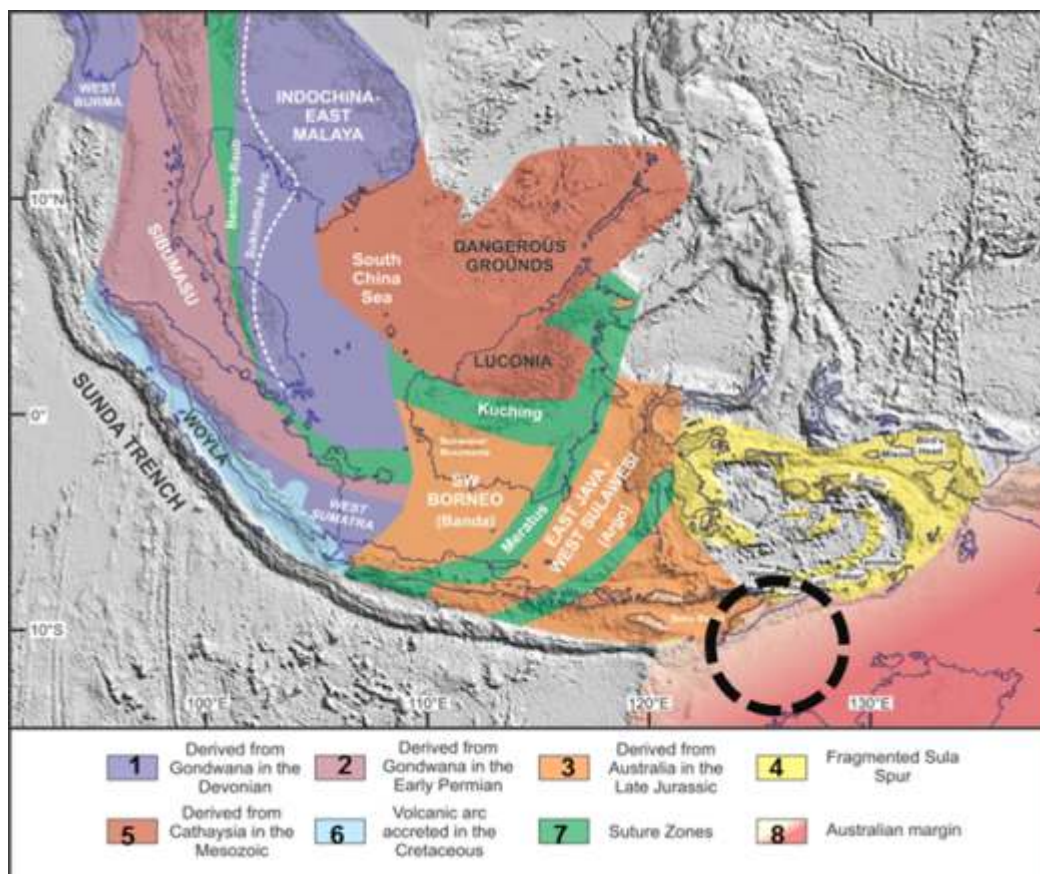
Pulau Timor merupakan salah satu wilayah dengan kondisi geologi yang paling rumit di Indonesia. Posisinya di busur luar non gunungapi tercermin dari batuan penyusunnya yang beraneka asal. Setidaknya

terdapat tiga asal utama yang menyusun Pulau Timor yaitu : batuan asal Benua Australia, batuan asal Busur Banda dan batuan yang terendapkan setempat (Audley-Charles, 1968; 2011; Harris, 2006; Rosidi, 1996). Perubahan definisi asal batuan dari Pulau Timor telah mengalami beberapa kali perbaikan (Charlton, 2012).

Peta Mintakat Regional Asia Tenggara pada Gambar 2 (Hall & Sevestjanova, 2012) mengelompokkan secara umum pulau-pulau di Indonesia kedalam beberapa mintakat berdasarkan asal dan umur sebagai berikut. Pertama merupakan blok yang berasal dari Gondwana pada Zaman Devon. Blok ini tersebar dari Burma, Indochina, Singapura dan pulau-pulau kecil di barat Kalimantan serta Sumatra. Kedua merupakan blok yang berasal dari Gondwana pada Zaman Perm Akhir. Blok ini tersebar di Singapura, Burma, Malaya hingga Sumatra. Ketiga merupakan blok yang berasal dari Australia pada Zaman Jura Akhir. Blok ini tersebar di Sumatra Barat bagian selatan hingga Jawa Bagian Barat dan Jawa Bagian Timur hingga Sulawesi Bagian Barat. Keempat merupakan blok Punggungan Sula. Blok ini tersebar di bagian timur Sulawesi, Seram, Papua bagian barat, Misool, Tanimbar hingga Wetar. Kelima merupakan blok yang berasal dari Cathaysia pada Zaman Mesozoikum. Blok ini tersebar di bagian barat Kalimantan hingga wilayah Laut China Selatan. Keenam merupakan blok busur gunungapi yang teranjakkan pada Zaman Kapur. Blok ini tersebar di sepanjang pantai barat Sumatra hingga Jawa Barat. Ketujuh merupakan zona sutur yang menjadi pemisah antara beberapa mintakat. Kedelapan berangsur putih merupakan blok Tepi Benua Australia. Blok ini tersebar di bagian selatan Pulau Timor hingga badan burung di Papua.

GEOLOGI DAERAH PENELITIAN

Secara umum geologi daerah penelitian terbagi atas satuan Mintakat Banda, Sekuen Tepi Benua Pasif Australia (*Passive Margin*), Sekuen Gondwana, Sekuen Pasca-Orogenik dan Sekuen Sin-Orogenik serta Komplek Bancuh Bobonaro. Satuan Mintakat Banda terdiri dari batuan yang berasal dari Busur Banda (Asia) yang terdiri atas batuan ultramafik (Ub), batuan metasedimen Komplek Mutis (pPm), batuan metasedimen Formasi Aileu (Pa), batupasir dan batugamping Formasi Formasi Haulasi dan Formasi Noni Tak Terpisahkan (Tkhn), perselingan rijang dengan batugamping Formasi Noni (Kno), batupasir Formasi Haulasi (Tpah), batuan sedimen dan gunungapi Formasi Metan (Tem), batuan terobosan diorit (Ted), batugamping Formasi Cablac (Tmc),



Sumber : Hall dan Sevastjanova; 2012

Gambar 2. Peta sebaran blok-blok penting di Asia Tenggara.

batupasir Formasi Noil Toko (Tmn) dan batuan gunungapi Formasi Manamas (Tmm). Sekuen Gondwana terdiri atas batugamping Formasi Maubise (TRPml), sisipan batuan gunungapi dalam batugamping (TRPmv), batugamping Formasi Aitutu (Tra), napal pasiran Formasi Wailuli (Jw). Sekuen Benua Pasif Australia (*Passive Margin*) terdiri atas batugamping Formasi Nakfunu (Kna) dan batugamping Formasi Ofu (Tko). Sekuen Sin-Orogenik terdiri atas batugamping Formasi Batuputih (Tmptb), batugamping Formasi Viqueque (Tpv) dan batupasir gampingan Formasi Noele (Qtn). Sekuen pasca orogenik terdiri atas batugamping koral (Ql), konglomerat dan kerakal (Qac) serta aluvium (Qa).

HASIL PENELITIAN

Berdasarkan analisis yang dilakukan pada laboratorium Pusat Survei Geologi dengan XRF dan ICP-MS maka diperoleh kandungan data unsur oksida utama, unsur jarang dan unsur tanah langka (Tabel 1 dan 2). Untuk unsur oksida dilakukan perhitungan penormalan sebelum dihitung lebih lanjut dengan perangkat lunak GCD-Kit versi 4.1 (Janousek, 2006).

Batuan Gunungapi Fatu

Berdasarkan perajahan pada grafik hubungan antara persen berat SiO_2 terhadap $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ dari Le Bas et al. (1986) pada diagram tersebut nampak bahwa conto dari Sungai Fatu memiliki kadar SiO_2 antara 45% hingga 55% dan kadar $(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})$ antara 3% hingga 7%. Semua conto berkelompok sebagai batuan alkalin (Gambar 3a). Berdasarkan kandungan SiO_2 batuan gunungapi Fatu berumur Perem bersifat basa hingga menengah. Jenis batumannya secara kimia termasuk ke dalam *basalt*, *tephrite basanite*, *trachy-basalt* dan *basaltic trachy-andesite*.

Data geokimia lintasan Sungai Fatu diplot pada diagram laba-laba (Sun & McDonough, 1989) dan pola umumnya menunjukkan penurunan unsur tanah langka ringan ke berat (kiri ke kanan). Kecuali dari Ta ke Nb secara umum terjadi peningkatan kadar (Gambar 4a). Pola demikian ini menunjukkan kemiripan dengan OIB (*Oceanic Island Basalt*).

Tabel 1. Data Unsur Oksida Utama dalam persen berat di Sungai Fatu, Kompleks Mutis, *Deep Sea Drilling Project* (DSDP), Sungai Metan, Kompleks Mutis dan Pulau Atauro, Timor.

No	No Conto	Lokasi	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO*	MnO	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅
1	12FN 022	S. Fatu	46.95	2.77	14.34	7.83	0.14	6.73	16.37	1.76	2.48	0.57
2	12JW 023	S. Fatu	46.15	3.00	13.45	13.38	0.16	10.56	6.64	3.14	2.82	0.60
3	12JW 030	S. Fatu	47.17	1.75	19.73	8.62	0.15	13.50	5.00	2.88	0.73	0.45
4	12JW 031B	S. Fatu	54.83	1.43	16.34	12.59	0.11	4.11	2.24	4.37	2.88	1.07
5	12JW 032	S. Fatu	49.12	1.98	13.80	15.06	0.21	6.53	6.48	3.78	1.99	1.01
6	12JW 034	S. Fatu	45.48	1.91	13.91	19.28	0.30	9.25	2.45	2.99	3.69	0.71
7	14 JW 249A	K. Mutis	46.40	0.74	12.11	11.27	0.26	10.96	13.37	2.13	0.08	0.11
8	14 JW 251A	K. Mutis	46.40	0.87	10.88	12.37	0.25	12.09	10.28	2.78	0.09	0.17
9	14 JW 252A	K. Mutis	47.90	0.73	10.99	11.18	0.19	12.30	11.38	2.48	0.22	0.13
10	14 JW 252E	K. Mutis	44.85	0.92	12.37	14.07	0.28	7.13	12.98	1.77	0.06	0.21
11	14 JW 254A	K. Mutis	46.23	1.02	9.98	14.85	0.23	14.58	9.28	1.07	0.17	0.31
12	TEVGa	S. Metan	63.81	1.17	14.80	2.89	0.17	3.15	1.93	4.01	3.07	0.22
13	TEVGb	S. Metan	68.23	0.60	13.78	2.69	0.19	0.52	1.21	3.75	3.44	0.14
14	TEVH3	S. Metan	61.39	0.78	61.21	2.62	0.15	4.39	0.57	3.27	3.73	0.21
15	TEVI2	S. Metan	63.81	0.76	15.33	3.73	0.10	1.78	1.70	4.08	2.48	0.19
16	TEVI8	S. Metan	63.25	0.74	14.16	3.92	0.13	3.14	1.33	3.27	2.30	0.20
17	TEVK4	S. Metan	67.99	0.51	14.48	2.20	0.11	0.73	1.25	4.18	2.79	0.10
18	A05-001	P. Atauro	53.48	0.41	11.41	6.35	0.13	14.52	9.63	1.68	0.61	0.02
19	A05-002	P. Atauro	53.39	0.46	13.55	6.90	0.14	12.87	8.34	1.84	0.67	0.04
20	A05-007	P. Atauro	65.16	0.60	14.85	4.31	0.10	3.74	1.35	3.78	3.06	0.08
21	A05-022	P. Atauro	53.20	0.44	13.37	6.86	0.13	13.17	8.35	1.70	0.52	0.02
22	A05-052	P. Atauro	68.62	0.58	15.89	2.15	0.02	3.16	0.34	4.45	3.19	0.12
23	A05-053	P. Atauro	71.37	0.49	14.38	0.62	0.01	1.77	0.27	4.67	2.52	0.02
24	A05-054	P. Atauro	66.29	0.46	14.07	2.90	0.08	2.84	0.92	4.48	3.08	0.08
25	A05-055	P. Atauro	65.25	0.63	14.73	3.67	0.09	3.26	1.06	4.21	3.11	0.14
26	A05-080	P. Atauro	70.61	0.40	14.12	2.50	0.03	2.35	0.65	3.94	3.82	0.04
27	A05-091	P. Atauro	66.01	0.43	13.98	3.47	0.08	3.46	1.21	3.73	3.18	0.05
28	A05-107	P. Atauro	69.50	0.38	14.38	3.03	0.06	3.04	1.22	3.67	3.59	0.07
29	A05-123	P. Atauro	67.51	0.27	11.72	1.67	0.06	1.30	0.41	3.25	3.64	0.02
30	A05-125	P. Atauro	65.97	0.57	14.79	3.49	0.09	3.16	0.99	4.17	3.16	0.11
31	DSDP-259-116/129	DSDP	51.65	1.27	15.61	10.15	0.19	10.04	7.19	2.34	0.31	0.13
32	DSDP-259-140/150	DSDP	51.23	1.37	16.58	9.51	0.18	8.42	8.38	2.70	0.27	0.15
33	DSDP-259-32/38	DSDP	50.69	1.61	16.67	10.71	0.13	7.82	7.70	1.89	0.65	0.22
34	DSDP-259-85/92	DSDP	51.62	1.27	16.49	8.97	0.16	9.52	7.91	3.12	0.13	0.09
35	DSDP-260-PC5	DSDP	51.86	1.75	13.84	12.38	0.20	10.25	5.84	2.72	0.14	0.13
36	DSDP-261-110/120 (C)	DSDP	49.94	1.00	15.28	9.62	0.25	11.84	7.60	2.19	0.61	0.08
37	DSDP-261-126/133 (C)	DSDP	48.49	0.94	15.96	9.05	0.22	13.09	7.08	3.16	0.67	0.17
38	DSDP-261-13/20 (B)	DSDP	48.95	3.46	15.75	11.62	0.43	6.34	7.74	3.32	0.92	0.33
39	DSDP-261-142/150 (A)	DSDP	49.84	1.32	14.40	10.73	0.22	12.03	7.41	2.16	0.01	0.19
40	DSDP-261-87/97 (B)	DSDP	49.69	3.34	15.60	10.70	0.15	7.09	6.91	3.64	0.83	0.29
41	DSDP-261-PC2 (A)	DSDP	50.22	1.39	14.82	10.73	0.21	11.33	7.15	2.16	0.64	0.07

Tabel 2. Data unsur jarang dan langka dalam ppm di Sungai Fatu, Kompleks Mutis, Deep Sea Drilling Project (DSDP), Sungai Metan, Kompleks Mutis dan Pulau Atauro, Timor.

No	No Conto	Lokasi	K	Ti	P	Rb	Sr	Y	Nb	Cs	Ba	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Dy	Yb	Lu	Pb	Th	U	Zr
1	12FN 022	S. Fatu	18180,25	14627,78	2208,24	46,57	309,20	17,80	89,78	1,45	559,35	31,37	63,14	7,51	28,25	6,23	2,06	4,40	1,83	0,30	23,09	4,67	1,84	0,01
2	12IW 023	S. Fatu	21334,82	16426,28	2395,90	35,40	195,80	18,18	99,67	1,18	876,70	30,49	60,27	7,20	27,30	6,08	2,09	4,23	1,66	0,28	6,19	4,55	1,34	0,01
3	12IW 030	S. Fatu	5669,92	9771,84	1828,57	9,66	288,80	14,76	26,46	0,75	139,70	9,58	21,07	2,98	12,58	3,53	1,29	3,30	1,59	0,27	4,32	0,78	0,25	
4	12IW 031B	S. Fatu	22995,12	8273,09	4495,04	94,14	302,40	18,50	92,74	2,40	589,60	21,24	46,03	5,86	23,03	5,26	1,80	4,11	2,25	0,39	8,25	3,08	0,64	0,05
5	12IW 032	S. Fatu	15066,79	11210,64	4159,00	29,43	159,90	26,54	45,98	0,40	276,43	19,07	40,81	5,37	21,92	5,79	1,78	5,63	2,83	0,48	6,52	2,23	0,71	0,01
6	12IW 034	S. Fatu	28308,07	10551,19	2867,23	75,42	175,40	20,45	52,54	2,53	309,10	14,14	29,77	3,94	16,06	4,15	1,40	4,21	2,50	0,44	9,53	1,86	0,46	0,01
7	12IW 033	S. Fatu	6060,08	6054,94	286,72	14,50	129,20	16,54	2,77	1,04	19,38	2,52	5,20	1,18	6,13	2,27	0,80	3,26	1,86	0,32	4,72	0,01	0,15	-
8	12FN 015C	S. Fatu	5238,24	5797,16	445,14	9,62	141,90	16,31	0,54	0,87	28,80	1,62	2,99	0,86	4,84	2,03	0,79	3,46	2,07	0,35	3,51	0,01	0,13	-
9	12FN 021	S. Fatu	428,36	6654,44	536,79	1,16	154,50	16,25	0,83	0,44	7,69	1,57	4,57	0,99	5,59	2,26	0,90	3,51	2,05	0,36	8,80	0,01	0,29	-
10	12FN 023	S. Fatu	18180,25	14627,78	2208,24	1,34	230,40	12,63	1,70	1,51	58,26	0,83	2,07	0,52	3,08	1,45	0,51	2,59	1,73	0,30	6,32	0,01	0,05	-
11	14 JW 249A	K. Mutis	662,46	4448,29	480,05	71,29	415,60	20,29	0,82	2,31	79,81	1,91	5,96	1,03	5,16	1,94	0,78	3,30	1,76	0,29	-	0,10	0,21	-
12	14 JW 251A	K. Mutis	768,72	5215,64	746,26	82,03	395,13	28,98	2,15	2,32	74,41	2,99	9,26	1,54	7,79	2,75	0,98	4,72	2,53	0,41	-	0,13	0,23	-
13	14 JW 252A	K. Mutis	1801,42	4364,36	545,51	79,46	391,26	23,26	0,85	2,23	132,10	2,42	6,16	1,18	5,72	2,03	0,75	3,74	2,01	0,31	-	0,10	0,27	-
14	14 JW 252E	K. Mutis	456,58	5533,38	920,83	79,83	386,96	28,91	1,96	2,27	90,39	5,25	13,65	2,06	9,54	2,99	1,02	4,66	2,42	0,37	-	0,10	0,38	-
15	14 JW 254A	K. Mutis	1436,16	6114,89	1348,51	76,15	598,27	41,31	2,48	2,18	61,15	6,02	17,24	2,69	13,34	4,38	1,48	6,77	3,51	0,54	-	0,39	0,50	-
16	TEV16a	S. Metan	25485,56	7014,14	960,11	58,52	134,70	35,40	11,88	-	18,67	38,51	-	20,66	20,66	1,60	6,80	4,00	0,60	-	-	-	-	151,02
17	TEV16b	S. Metan	28557,11	3597,00	610,98	65,84	59,56	37,00	2,80	-	16,12	30,69	-	18,00	18,00	1,30	6,90	4,40	0,60	-	-	-	-	139,18
18	TEV13	S. Metan	30964,54	4676,10	916,46	84,13	95,30	33,60	5,59	-	20,81	37,61	-	20,58	20,58	1,30	6,70	4,20	0,60	-	-	-	-	128,81
19	TEV12	S. Metan	20587,69	4556,20	829,18	70,41	56,81	31,50	3,50	-	16,54	27,43	-	16,03	16,03	1,00	5,80	3,80	0,50	-	-	-	-	142,14
20	TEV18	S. Metan	19093,42	4436,30	872,82	70,41	53,15	35,50	4,19	-	16,80	35,74	-	19,98	19,98	1,40	6,50	4,00	0,50	-	-	-	-	136,96
21	TEV4	S. Metan	23161,15	3057,45	436,41	81,38	52,23	35,00	4,89	-	17,30	34,03	-	19,92	19,92	1,20	6,40	4,10	0,60	-	-	-	-	128,07
22	A05-001	P. Atauro	5063,91	2457,95	119,90	16,46	185,18	10,96	2,49	1,37	127,53	6,06	12,26	1,57	6,36	1,65	0,53	2,01	1,25	0,19	6,58	1,98	0,58	37,56
23	A05-002	P. Atauro	5562,00	2757,70	239,80	19,09	226,72	12,08	2,48	1,57	158,78	6,86	14,18	1,75	6,99	1,77	0,57	2,14	1,34	0,20	7,77	2,25	0,66	41,62
24	A05-007	P. Atauro	25402,55	3597,00	479,60	106,14	284,50	29,80	17,64	6,24	896,53	43,77	75,89	8,70	30,07	5,84	1,19	5,03	3,29	0,51	24,58	17,62	4,39	214,85
25	A05-022	P. Atauro	4316,77	2637,80	119,90	15,98	205,11	11,68	2,12	1,41	117,77	5,72	11,79	1,54	6,26	1,65	0,55	2,07	1,30	0,20	6,93	1,89	0,52	37,43
26	A05-052	P. Atauro	26481,74	3477,10	719,40	87,51	300,69	26,75	19,35	1,72	901,30	44,77	79,78	8,75	30,04	5,76	1,31	4,90	2,98	0,45	16,59	16,85	4,24	202,73
27	A05-053	P. Atauro	20919,75	2937,55	119,90	63,22	188,98	24,88	18,25	0,78	699,45	43,27	81,82	8,59	29,99	5,55	0,98	4,40	3,00	0,46	2,82	19,80	7,29	243,32
28	A05-054	P. Atauro	25568,58	2757,70	479,60	97,36	260,18	25,68	17,61	4,82	888,91	43,06	74,59	7,90	26,40	4,87	1,06	4,19	2,95	0,46	20,69	17,19	4,26	203,08
29	A05-055	P. Atauro	25817,62	3776,85	839,30	107,81	280,30	31,04	19,04	6,23	957,87	46,05	82,55	9,07	31,26	6,08	1,33	5,27	3,40	0,52	25,88	17,72	4,42	220,07
30	A05-080	P. Atauro	31711,68	2398,00	239,80	110,89	185,91	28,02	18,85	1,84	989,37	45,91	78,58	8,62	28,66	5,34	0,95	4,67	3,27	0,51	17,15	20,19	4,92	169,49
31	A05-091	P. Atauro	26398,73	2577,85	299,75	105,27	254,38	21,40	14,11	5,95	837,74	35,84	61,80	6,46	21,28	3,95	0,88	3,52	2,51	0,40	21,49	16,41	4,19	179,80
32	A05-107	P. Atauro	29802,34	2278,10	419,65	114,19	221,40	15,76	11,97	2,04	876,02	34,14	56,41	5,68	18,02	3,15	0,74	2,62	1,83	0,28	20,15	15,74	4,06	104,86
33	A05-123	P. Atauro	26232,70	1618,65	119,90	92,40	142,40	30,87	14,79	7,65	873,09	41,50	74,71	8,19	27,96	5,47	0,98	5,09	3,48	0,53	29,48	18,07	4,52	130,11
34	A05-125	P. Atauro	26232,70	3417,15	659,45	101,37	259,23	29,50	17,10	5,52	869,70	42,28	74,70	8,27	28,61	5,56	1,23	4,91	3,24	0,50	-	16,45	4,21	202,06
35	DSDP-259-116/129	DSDP	2573,46	7613,64	567,34	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	85,00
36	DSDP-259-140/150	DSDP	2241,40	8213,14	654,62	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
37	DSDP-259-32/38	DSDP	5395,97	9651,94	960,11	-	-	-	1,10	-	6,10	1,80	6,70	1,10	5,30	2,00	0,76	3,50	2,80	0,43	1,70	0,10	0,07	58,00
38	DSDP-259-85/92	DSDP	1079,19	7613,64	392,77	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
39	DSDP-260-PC5	DSDP	1162,21	10491,24	567,34	-	-	-	4,20	-	45,00	4,30	12,00	1,80	8,30	2,80	0,98	4,50	3,70	0,57	1,50	0,12	-	-
40	DSDP-261-110/120 (C)	DSDP	5063,91	5994,99	349,13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
41	DSDP-261-126/133 (C)	DSDP	5562,00	5635,29	741,90	-	-	-	0,80	-	9,20	1,30	4,20	0,69	3,60	1,60	0,61	2,60	2,00	0,31	0,46	-	-	40,00
42	DSDP-261-132/20 (B)	DSDP	7637,37	20742,68	1440,16	-	-	-	7,10	-	35,00	6,00	18,00	3,00	15,00	5,30	1,80	7,50	5,10	0,79	1,40	0,42	0,86	150,00
43	DSDP-261-142/150 (A)	DSDP	83,01	7913,39	829,18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
44	DSDP-261-87/97 (B)	DSDP	6890,23	20023,28	1265,59	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
45	DSDP-261-PC2 (A)	DSDP	5312,95	8333,04	305,49	-	-	-	0,84	-	3,40	1,60	5,50	1,00	5,00	2,10	0,79	3,60	2,80	0,43	0,61	0,08	-	62,00

Data geokimia Sungai Fatu hasilnya diplot pada grafik hubungan antara Nb/Yb (sumbu X) dengan TiO_2/Yb (sumbu Y) dari Pearce (2008). Nilai Nb/Yb mulai dari 18 hingga 65 dan nilai TiO_2/Yb berkisar antara 0,6 hingga 1,8. Pada grafik tersebut terlihat bahwa sebagian besar data terdapat pada lajur *Oceanic Island Basalt* (OIB) dan bersifat alkali (Gambar 5a). Model ini juga digunakan oleh Stokes, *et al.* (2015) pada batuan basal di Kompleks Akresi Narooma, Australia.

Kompleks Mutis

Hasil perajahan pada grafik persen berat SiO_2 terhadap Na_2O+K_2O dari Le Bas dkk (1986) nampak bahwa conto dari Kompleks Mutis memiliki kadar SiO_2 antara 47% hingga 49% dan kandungan (Na_2O+K_2O) antara 1% hingga 3%. Seluruh conto batuan berkelompok sebagai batuan Subalkalin, tergolong bersifat basa (Gambar 3b). Jenis batumannya secara kimia adalah *basalt*.

Dari data geokimia Kompleks Mutis diplot pada diagram laba-laba (Sun & McDonough, 1989) dan pola umumnya menunjukkan penurunan dari unsur tanah langka ringan ke berat (kiri ke kanan). Pola ini dicirikan dengan penurunan kadar Ti dan naiknya kadar Sr (Gambar 4b). Selain itu, terdapat juga penurunan kadar Nb secara tiba-tiba yang mencirikan magmanya berkompposisi kalk alkalin bukti bagian dari busur kepulauan.

Dari data geokimia Kompleks Mutis hasilnya diplot dengan diagram segitiga TiO_2 , $10MnO$ dan $10P_2O_5$ dari Mullen (1983) maka terlihat bahwa sebagian besar data merupakan *Calc Alkaline Basalt* (Gambar 5b).

Data Deep Sea Drilling Project

Berdasarkan perajahan pada grafik persen berat SiO_2 terhadap Na_2O+K_2O dari Le Bas, *et al.*, (1986) nampak bahwa persen berat SiO_2 berkisar antara 49 hingga 52. Persen berat (Na_2O+K_2O) berkisar antara 2 hingga 4 (Gambar 3c). Sebagian besar conto dari DSDP berkelompok sebagai batuan Subalkalin, tergolong basa hingga menengah. Jenis batumannya secara kimia termasuk *basalt* dan *basaltic andesite*.

Dari data geokimia dari DSDP dirajah pada diagram laba-laba (Sun & McDonough, 1989) dan pola umumnya menunjukkan penurunan dari unsur tanah langka ringan ke berat (kiri ke kanan). Pola demikian ini (Gambar 4c) menunjukkan kemiripan dengan *Oceanic Island Basalt* (OIB).

Dari data geokimia DSDP hasilnya dirajah dengan Nb/Yb (sumbu X) dan TiO_2/Yb (sumbu Y) pada grafik Pearce (2008). Nilai Nb/Yb berkisar antara 0,2 hingga

0,7 dan nilai TiO_2/Yb berkisar antara 0,4 hingga 0,7 (Gambar 5c). Terlihat bahwa sebagian besar data terdapat pada lajur *Normal Mid Oceanic Ridge Basalt* (NMORB).

Sungai Metan

Berdasarkan perajahan pada grafik persen berat SiO_2 terhadap Na_2O+K_2O dari Le Bas, *et al.* (1986) nampak bahwa conto dari Sungai Metan mempunyai kadar SiO_2 antara 44% hingga 71% dan kandungan (Na_2O+K_2O) antara 5% hingga 7%. Sebagian besar conto dari Sungai Metan berkelompok sebagai batuan subalkalin, tergolong bersifat asam. Jenis batumannya secara kimia termasuk riolit dan dasit (Gambar 3d). Namun ada satu conto yang berbeda, batumannya yang tergolong *tephrite/basanite*, bersifat ultrabasa dan tergolong alkalin.

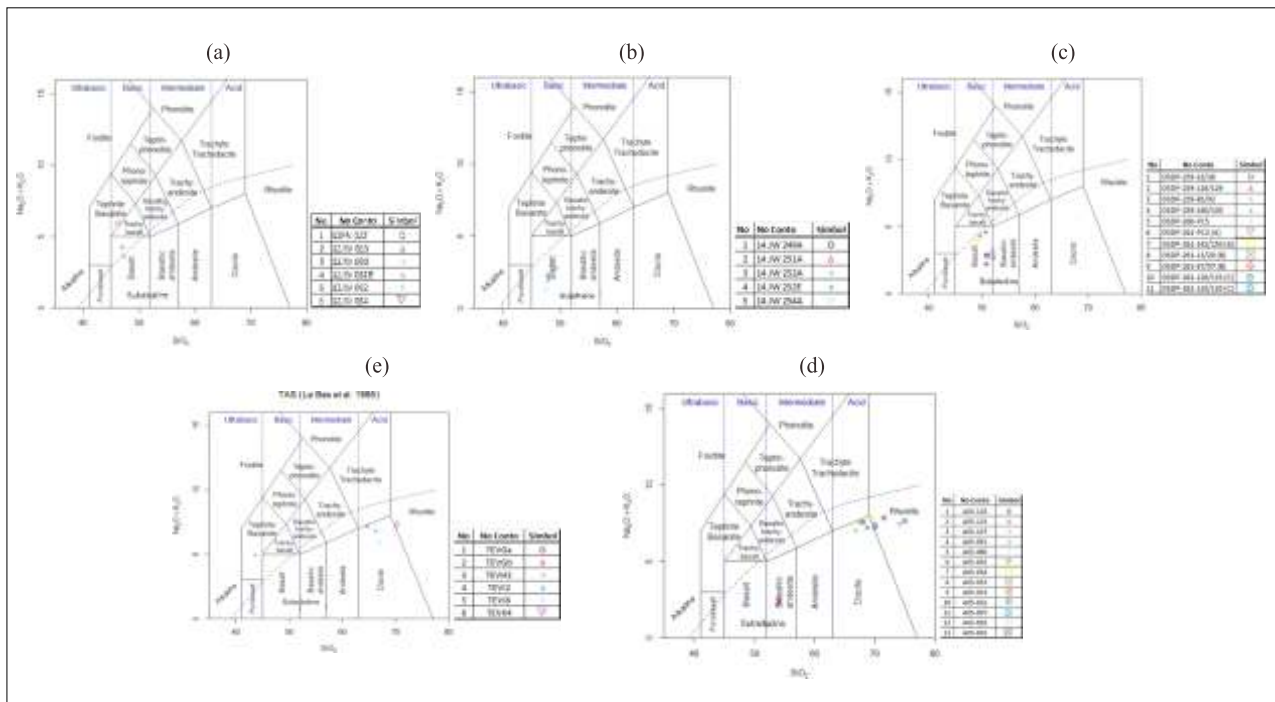
Dari data geokimia Sungai Metan diplot pada diagram laba-laba (Sun & McDonough, 1989) dan pola umumnya menunjukkan penurunan dari unsur tanah langka ringan ke berat (kiri ke kanan). Pola ini dicirikan penurunan Ti, P dan Nb. Penurunan kadar Nb secara tiba-tiba yang mencirikan magmanya berkompposisi kalk-alkalin ciri dari busur kepulauan (Gambar 4d).

Dari data geokimia Sungai Metan hasilnya diplot dengan diagram segitiga FeO^* , MgO dan Al_2O_3 dari Pearce, *et al.* (1977) terlihat bahwa semua batuan termasuk kedalam Spreading Centre Island (Gambar 5d).

Pulau Atauro

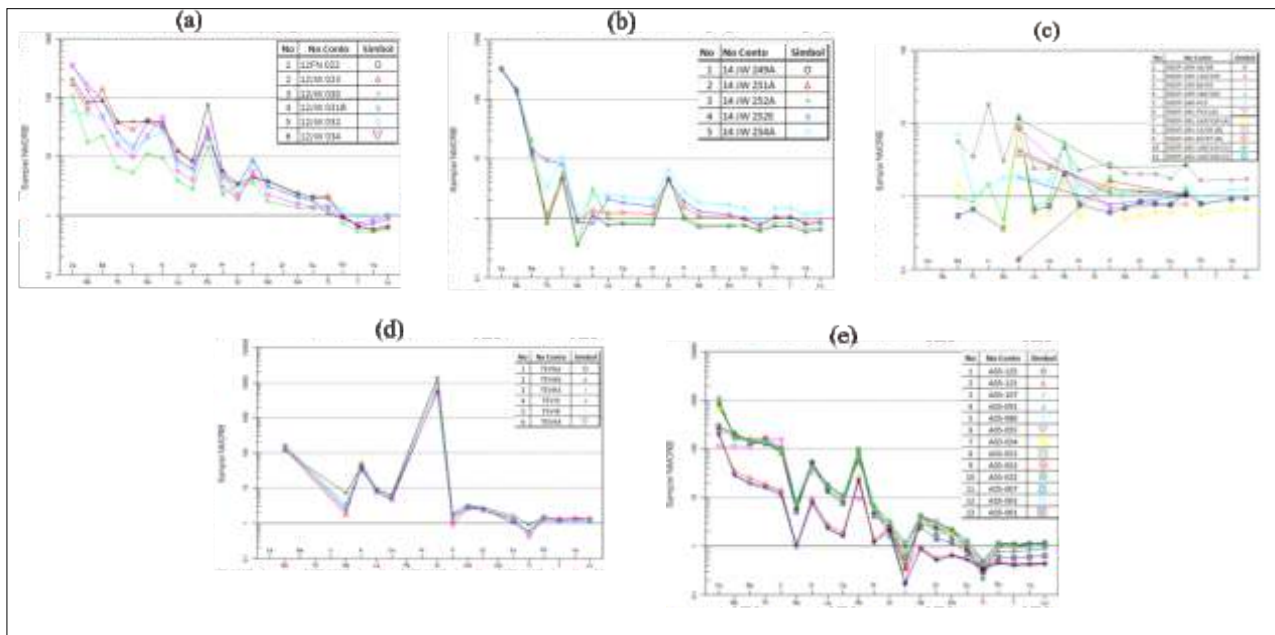
Berdasarkan perajahan pada grafik persen berat SiO_2 terhadap Na_2O+K_2O dari Le Bas, *et al.* (1986) nampak bahwa conto dari Pulau Atauro mempunyai kadar SiO_2 antara 54% sampai 76% dan kadar (Na_2O+K_2O) antara 2% hingga 7,5%. Semua conto batuan dari Pulau Atauro berkelompok sebagai batuan Subalkalin. Conto batuan yang bersifat asam terdiri dari dasit dan riolit, sedangkan yang bersifat menengah adalah basaltik-andesit (Gambar 3e).

Dari data geokimia Pulau Atauro diplot pada diagram laba-laba (Sun & McDonough, 1989) dan pola umumnya menunjukkan penurunan dari unsur tanah langka ringan ke berat (kiri ke kanan). Pola ini dicirikan penurunan Ti, P, Nb tetapi sebaliknya naiknya kadar Pb. Penurunan kadar Nb secara tiba-tiba yang mencirikan magmanya berkompposisi kalk-alkalin karakter dari busur kepulauan (Gambar 4e). Pola grafik berupa penurunan Nb dan kenaikan K ini mirip yang terjadi pada tepra yang diambil dari busur kepulauan di Pulau Deception, Antartika (Ferreira, *et al.*, 2014).



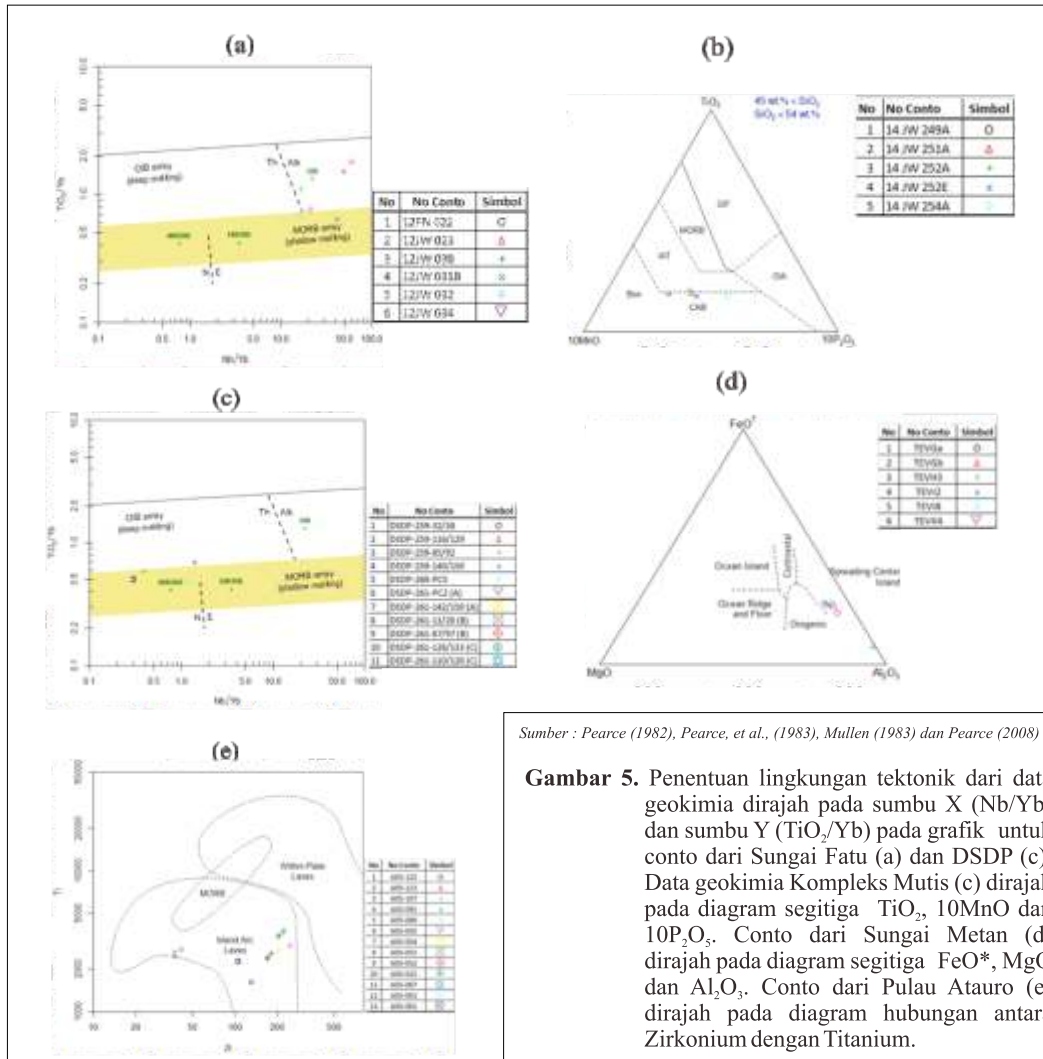
Sumber : Le Bas dr., (1986)

Gambar 3. Gambar grafik perajahan persen berat SiO₂ terhadap Na₂O+K₂O untuk contoh dari Sungai Fatu (a), Kompleks Mutis (b), DSDP (c) Sungai Metan (d) dan Pulau Atauro (e).



Sumber : Sun & Mc Donough, 1989

Gambar 4. Hasil perajahan data geokimia pada diagram laba-laba untuk contoh dari Sungai Fatu (a), Kompleks Mutis (b), DSDP (c) Sungai Metan (d) dan Pulau Atauro (e).



Sumber : Pearce (1982), Pearce, et al., (1983), Mullen (1983) dan Pearce (2008)

Gambar 5. Penentuan lingkungan tektonik dari data geokimia dirajah pada sumbu X (Nb/Yb) dan sumbu Y (TiO₂/Yb) pada grafik untuk conto dari Sungai Fatu (a) dan DSDP (c). Data geokimia Kompleks Mutis (c) dirajah pada diagram segitiga TiO₂, 10MnO dan 10P₂O₅. Conto dari Sungai Metan (d) dirajah pada diagram segitiga FeO*, MgO dan Al₂O₃. Conto dari Pulau Atauro (e) dirajah pada diagram hubungan antara Zirkonium dengan Titanium.

Dari data geokimia Pulau Atauro hasilnya diplot dengan diagram hubungan antara Zr dengan Ti menurut Pearce (1982) maka terlihat bahwa semua conto dari Pulau Atauro terdapat pada *Island Arc Lavas* (Gambar 5e).

DISKUSI

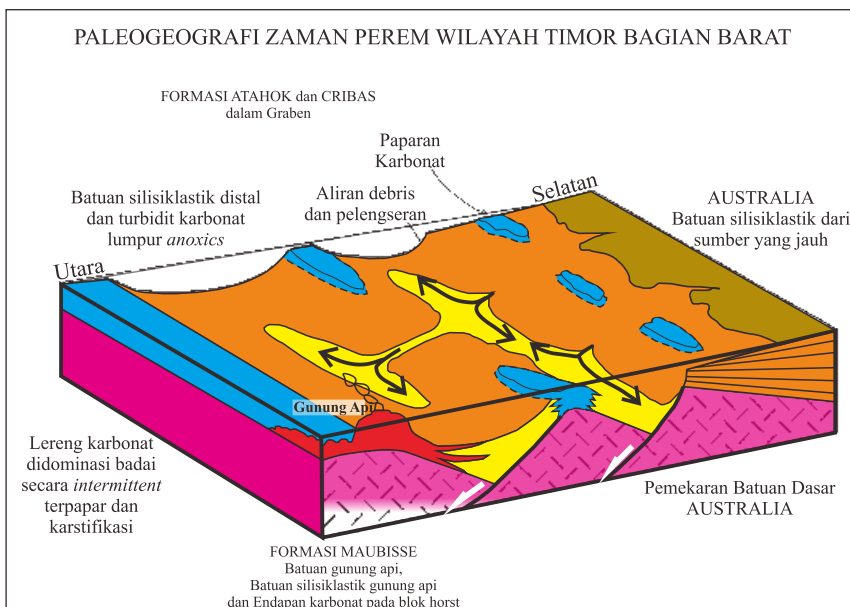
Berdasarkan analisis yang telah dilakukan maka dapat dibuat model tektonik Pulau Timor bagian barat berdasarkan data geokimia batuan gunungapi yang diperoleh dari Sungai Fatu, DSDP, Sungai Metan, Gunung Mutis dan Pulau Atauro.

Pada Gambar 6 dijelaskan bahwa lava basal yang ditemukan bersama batugamping Formasi Maubise berumur Perem. Charlton (2002) menggambarkan bahwa batugamping terendapkan pada bagian yang tinggi (*horst*) sementara Formasi Atahoc dan Cribas terendapkan pada bagian yang rendah (*graben*). Batuan basal (Gambar 3a, 4a dan 5a) yang diperoleh pada lintasan Sungai Fatu terendapkan bersama dengan

batugamping Formasi Maubise. Pemodelan data geokimia menunjukkan bahwa basal dari Sungai Fatu merupakan *Oceanic Island Basalt*.

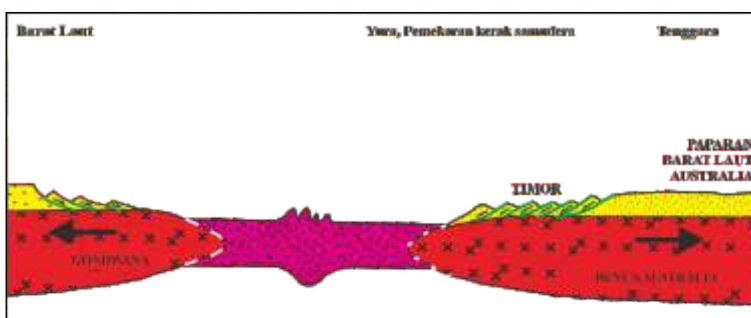
Pada Gambar 7 dijelaskan bahwa pada Zaman Jura bagian utara tepi benua Australia yang merupakan bagian dari Gondwana mengalami pemekaran (Bird, 1984). Hasil pemekaran diantaranya adalah batuan basal yang didapatkan pada pemboran DSDP yang secara geokimia termasuk subalkalin dan berasal dari pematang tengah samudera (*Normal Mid Oceanic Ridge Basalt*). Model struktur suhu mantel atas pada pematang tengah samudera yang bergeser dari Whittaker (2015) bisa diterapkan pada kasus ini.

Pada tahap awal kolisi, bagian tepi benua aktif Asia yang pertama kali bertemu dengan benua Australia adalah Kompleks Mutis (Bird, 1984) pada Oligosen Miosen (Gambar 8). Kompleks Mutis tersusun atas batuan metasedimen dan metabasal yang diduga berasal dari busur muka Busur Banda.



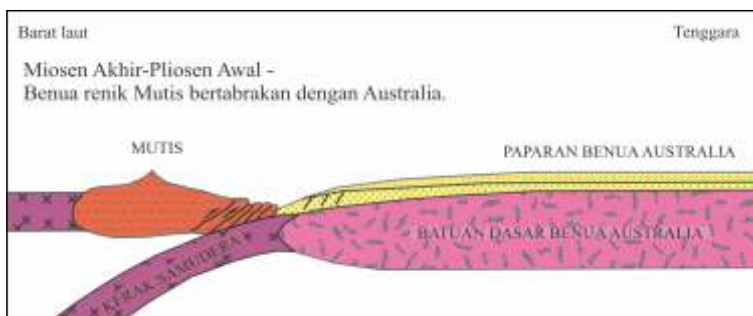
Sumber : Charlton, 2002

Gambar 6. Model kehadiran lava basal yang ditemukan bersama batugamping Formasi Maubise berumur Jura yang diperoleh pada lintasan Sungai Fatu.



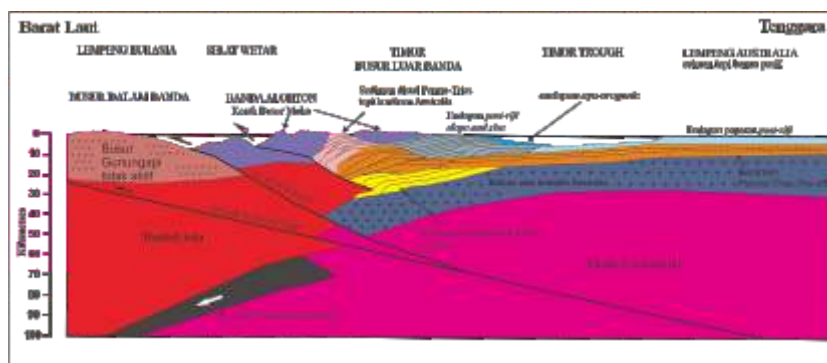
Sumber : Bird (1984)

Gambar 7. Model kehadiran lava basal berumur Jura yang terjadi pada saat pemekaran yang dibuat berdasarkan data hasil *Deep Sea Drilling Project* (DSDP).



Sumber : modifikasi dari Bird, 1984

Gambar 8. Kolisi antara Timor dengan tepi benua aktif Asia yang pertama kali bertemu dengan benua Australia adalah Kompleks Mutis. Kompleks Mutis tersusun atas batuan metasedimen dan metabasal yang diduga berasal dari busur muka Busur Banda. Hasil analisis kimia batuan metabasal Kompleks Mutis menunjukkan komposisinya kalk alkalin yang mencirikan busur kepulauan.



Sumber : Hall dan Wilson (2000).

Gambar 9. Model kolisi Pulau Timor yang aktif sejak Akhir Miosen-Awal Pliosen hingga sekarang.

Hasil analisis kimia batuan metabasal Kompleks Mutis menunjukkan komposisi kalk-alkalin yang mencirikan busur kepulauan.

Pada Gambar 9 dijelaskan bahwa puncak kegiatan kolisi terjadi pada Akhir Miosen – Awal Pliosen dan berlanjut hingga sekarang (Hall & Wilson, 2000). Model ini menunjukkan bahwa Busur Banda bagian dalam sebagian pusat gunungapinya sudah tidak aktif lagi seperti yang terjadi pada Pulau Atauro. Contoh batuan dari Sungai Metan dan Pulau Atauro terutama menunjukkan komposisinya yang subalkalin dan bersifat asam. Terdapat sebagian kecil contoh batuan bersifat menengah hingga ultrabasa.

KESIMPULAN

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan maka dapat diketahui bahwa secara geokimia batuan gunungapi Sungai Fatu dan DSDP di Pulau Timor Bagian Barat berasal dari Benua Australia. Sedangkan contoh batuan dari Sungai Metan, Kompleks Mutis berasal dari Benua Asia atau Busur Banda seperti pada Pulau Atauro.

Batuan basal yang diperoleh pada lintasan Sungai Fatu terendapkan bersama dengan batugamping Formasi Maubise berumur Perem dan merupakan *Oceanic Island*

Basalt. Batuan basal yang didapatkan pada pembarisan DSDP secara geokimia termasuk subalkalin/teolitik dan berasal dari pematang tengah samudera (*Normal Mid Oceanic Ridge Basalt*) berumur Jura.

Kompleks Mutis pada Oligosen Miosen mengawali kolisi antara Benua Asia dengan Benua Australia. Hasil analisis kimia batuan metabasal Gunung Mutis menunjukkan komposisinya kalk alkalin yang mencirikan busur kepulauan. Contoh batuan dari Sungai Metan dan Pulau Atauro terutama menunjukkan komposisinya yang subalkalin/teolitik dan bersifat asam. Pada model ini ditunjukkan bahwa puncak kegiatan kolisi terjadi pada Akhir Miosen – Awal Pliosen dan berlanjut hingga sekarang. Busur Banda bagian dalam sebagian gunungapinya sudah tidak aktif lagi seperti yang terjadi pada Pulau Atauro.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Manajemen Pusat Survei Geologi yang telah mengizinkan pemakaian data untuk penulisan makalah ini. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada rekan-rekan Tim Cekungan Migas Wilayah Timor yang telah bekerja sama dengan baik selama di lapangan hingga penulisan laporan.

ACUAN

- Agung, W., 2016. Inductively Coupled Plasma (ICP). <http://anshave.blogspot.co.id/2014/04/inductively-coupled-plasma-icp.html>
- Audley-Charles, M.G., 1968. *The Geology of Portugese Timor, Memoirs of the Geological Society of London*. No.4.76 pp.
- Audley-Charles, .G. 2011. Tectonic post collision processes in Timor. *The SE Asia gateway: history and tectonics of the Australia-Asia collision. Geological Society. Special Publication 355.*
- Bird, P., 1984. Report on Fieldwork in The Kekneno Area, West Timor, Indonesia. University of London (tidak terbit).

- Charlton, T.R., Barber, A.J., Harris, R.A., 2002. The Permian of Timor: stratigraphy, paleontology and paleogeography. *Journal of Asian Earth Sciences* 20. 719-774.
- Charlton, T.R., Gandara, D., 2012. Redefining the allochthon in Timor: Structural-stratigraphic relationships at the boundaries of the Lolotoi metamorphic complex in Timor-Leste, and its applications for the Mutis Complex in Timor Barat, NTT. Presented at IAGI Luncheon Talk. geologi.iagi.or.id/wp-content/uploads/.../lolotoi-boundaries_iagi_may-2012-b1.pdf.
- Ely, S.K., Sandiford, M., Hawke, M.L., dkk., 2011. Evolution of Atauro Island: Temporal constraints on subduction processes beneath the Wetar zone, Banda Arc. *Journal of Earth Sciences*. Vol. 41. Pp. 477-493.
- Ferreira, P., Calvo, R., Santos, R., Mao de Ferro, A., Canario, J., & Mota, A.M., 2014. Island arc-magmatism fingerprint in the geochemistry of tephra from Deception Island, Antarctica. *Comunicacoes Geologicas*. 101. Especial I. Pp. 99-104.
- Hall, R. dan Sevastjanova, I., 2012. Australian crust in Indonesia, *Australian Journal of Earth Sciences*, 59. 827-844.
- Hall, R., dan Wilson, M.E.J., 2000. Neogene sutures in eastern Indonesia. *Journal of Asian Earth Sciences*, 18. Pp 781-808.
- Harris, R., 2006. Rise and fall of the Eastern Great Indonesian arc recorded by assembly, dispersion and accretion of the Banda Terrane, Timor. *Gondwana Research*. 10 (2006): 207-331.
- Hartono, H.M.S., 1990. Terbentuknya Busur Vulkanik Banda. *Geol. Indon*. V. 13. No. 2:105-112.
- Janousek, V., Farrow, C. M. dan Erban, V., 2006, Interpretation of whole-rock geochemical data in igneous geochemistry: introducing Geochemical Data Toolkit (GCDkit), *Journal of Petrology* 47(6): 1255-1259, doi: 10.1093/petrology/egl013.
- 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 of Petrology*, 27, 745-750.
- Mullen, E. D., 1983. MnO/TiO₂/P₂O₅. A minor element discriminant for basaltic rocks of oceanic environments and its implications for petrogenesis. *Earth and Planetary Science Letters* 62, 53-62.
- Pearce, T.H., Gorman, B.E. & Birkett, T.C., 1977. The relationship between major element chemistry and tectonic environment of basic and intermediate volcanic rocks. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 36. Pp. 121-132.
- Pearce, J.A., 2008. Geochemical finger printing of oceanic basalts with applications to ophiolite classification and the search for Archean oceanic crust: *Lithos*, v. 100, p. 14-48, doi:10.1016/j.lithos.2007.06.016.
- Pearce, J.A., 1982. Trace element characteristics of lavas from destructive plate boundaries. In: Thorpe, R.S. (Ed.), *Andesites*. Unwin Hyman, London, pp. 525-548.
- Robinson, P.T., & Whitford, D.J., 2007., Basalt From The Eastern Indian Ocean, DSDP LEG 27. *Deep Sea Drilling Project*. http://www.deepseadrilling.org/27/dsdp_toc.htm.
- Rollinson, H.R., 1993. *Using Geochemical Data: Evaluation, Presentation, Interpretation*. Prentice Hall. England.
- Rosidi, H.M.D., Tjokrosapoetro, S. & Gafoer S., 1996. *Peta Geologi Lembar Atambua-Timor, Skala 1:250.000*, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.
- Stokes, N., Ferguson, C.L., & Offler, R., 2015. Backarc basin and ocean island basalt in the Narooma Accretionary Complex, Australia: setting, geochemistry and tectonics. *Australian Journal of Earth Sciences*. 62. pp. 37-53.
- Sun, W. & McDonough, W.F., 1989. *Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes*. Geological Society, London. Special Publications. V. 42. p 313-345.
- Veevers, J.J., & Heirtzler, J.R., 1974. *Initial Report on deep Sea Drilling Project*. Vol. XXVII. US Government Printing Office.
- Whittaker, J.M., Afonso, J.C., Masterton, S., Muller, R.D., Wessel, P., William, S.E. & Seton, M., 2015. Long-term interaction between mid-ocean ridges and mantle plumes. *Nature Geoscience*. V. 8. Pp. 479-484.