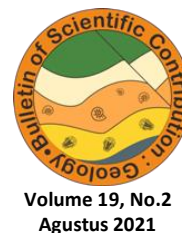




Bulletin of Scientific Contribution GEOLOGY

Fakultas Teknik Geologi
UNIVERSITAS PADJADJARAN

homepage: <http://jurnal.unpad.ac.id/bsc>
p-ISSN: 1693-4873; e-ISSN: 2541-514X



ANALISA DAERAH POTENSI PANAS BUMI SONGA-WAYAU, BACAN, MALUKU UTARA BERDASARKAN DATA GEOLOGI DAN GEOKIMIA

Damar Nandiwardhana¹, Allen Haryanto Lukmana¹, Prihadi Sumintadireja², Asep Saepuloh²

¹Program Studi Teknik Perminyakan, Fakultas Teknologi Mineral, UPN Veteran Yogyakarta
Jl. Ring Road Utara No.104, Ngropoh, Condongcatur, Kec. Depok, Kabupaten Sleman, DIY, 55283

²Program Studi Teknik Geologi, Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumihan, Institut Teknologi Bandung
Jl. Ganesha No. 10, Bandung, Indonesia
Email:dnandiwardhana@upnyk.ac.id

ABSTRAK

Kajian geologi dan geokimia merupakan kajian awal yang dilakukan pada suatu lapangan panas bumi yang bertujuan untuk mengetahui gambaran awal potensi panas bumi lapangan tersebut. Dari kajian geologi dan geokimia ini dilakukan untuk mengetahui gambaran kondisi geologi (geomorfologi, vulkanostratigrafi, dan struktur) dan geoindikator (*soil*, pH, isotop, dan temperatur) lapangan. Pada penelitian ini dilakukan kajian geologi dan geokimia, untuk mengetahui potensi awal prospek panas bumi pada daerah Songa - Wayau, Bacan, Maluku Utara. Pada daerah Songa - Wayau, Bacan, Maluku Utara diindikasikan terdapat adanya potensi panas bumi, hal ini ditunjukkan dengan adanya kemunculan manifestasi di permukaan berupa fumarol, mata air panas, kolam lumpur, tanah beruap, dan batuan ubahan (*alterasi*), yang terdapat di sekitar Desa Songa dan Desa Wayau. Kemunculan manifestasi berada pada lingkungan vulkanik (sekitar G. Pele dan G. Lansa). Berdasarkan hasil analisis data geologi struktur sesar yang berkembang di daerah penelitian memiliki arah dominan berarahkan baratlaut - tenggara dan timurlaut - baratdaya. Morfologi daerah penelitian terdiri dari perbukitan, kerucut vulkanik dan dataran aluvial. Geologi daerah penelitian terdiri dari produk gunung api berumur kuartar - tersier dari G. Songa, G. Pele, G. Lansa, dan G. Bibinoi kemudian satuan batugamping, satuan batuan granit tawa, dan satuan batuan metamorf yang berumur tersier. Berdasarkan hasil analisis data geokimia bahwa tipe air manifestasi didominasi oleh air klorida, temperatur antara 30° C - 98° C, pH 3 - 8 dan perkiraan temperatur reservoir 240 ° - 250 ° C (entalpi tinggi).

Kata kunci: Geologi, Geokimia, Songa - Wayau

ABSTRACT

Geological and geochemical studies are initial studies conducted on a geothermal field which aims to determine the initial description of the geothermal potential of the field. This geological and geochemical study was conducted to describe the geological conditions (geomorphology, volcanostratigraphy, and structure) and geoindicators (soil, pH, isotopes, and temperature) of the field. In this study, geological and geochemical studies were carried out, to determine the initial potential of geothermal prospects in the Songa - Wayau area, Bacan, North Maluku. In the area of Songa - Wayau, Bacan, North Maluku, it is indicated that there is geothermal potential, this is indicated by the appearance of manifestations on the surface in the form of fumaroles, hot springs, mud pools, steamy soil, and altered rocks, which are found around Songa Village and Wayau Village. The appearance of the manifestation is in the volcanic environment (around Mount Pele and Mount Lansa). Based on the analysis of geological data, the fault structure that developed in the study area has a dominant direction of northwest - southeast and northeast - southwest. The morphology of the research area consists of hills, volcanic cones and alluvial plains. The geology of the study area consists of quaternary - tertiary volcanic products from G. Songa, G. Pele, G. Lansa, and G. Bibinoi then limestone units, granite laugther units, and metamorphic rock units with tertiary age. Based on the results of geochemical data analysis that the type of manifestation water is dominated by chloride water, the temperature is between 30 ° C - 98 ° C, pH 3 - 8 and the reservoir temperature is estimated at 240 ° - 250 ° C (high enthalpy).

Keywords: Geothermal System, Geology, Geochemistry, Songa - Wayau

PENDAHULUAN

Sebagai negara berkembang Indonesia membutuhkan energi yang tidak sedikit untuk menunjang kebutuhan dalam pembangunan disegala bidang. Salah satu kebutuhan yang paling vital pada negara berkembang seperti Indonesia adalah pasokan energi listrik dan bahan bakar. Di Indonesia, energi untuk listrik dan bahan bakar masih banyak bersumber dari minyak, gas dan batubara, yang mana sumber-sumber energi tersebut merupakan sumber energi yang tidak terbarukan dan tidak ramah lingkungan. Maka dari itu dicarilah energi alternatif yang terbarukan, ramah lingkungan dan tidak bergantung pada sumber energi yang sudah ada, agar pembangunan di Indonesia terus berkembang dan berlanjut. Energi alternatif tersebut yang telah ditemukan dan sedang dikembangkan saat ini salah satunya adalah energi panas bumi atau *geothermal*. Di Indonesia energi panas bumi merupakan energi yang memiliki prospek tinggi, hal ini dikarenakan dikarenakan Indonesia dilewati rangkaian gunung api yang disebut *ring of fire* yang terbentang dari pulau Sumatera bagian selatan sampai dengan Nusa Tenggara yang kemudian dilanjutkan ke Sulawesi. Seperti yang diketahui bahwa dari banyaknya rangkaian gunung api tersebut sangat berpotensi terbentuk sumber daya panas bumi.

Salah satu potensi panas bumi ini terletak di Indonesia bagian timur yaitu di daerah Songa – Wayaua, Bacan, Maluku Utara. Dimana untuk mengidentifikasi awal ada potensi panas bumi pada daerah ini akan dilakukannya kajian data-data geologi dan geokimia. Diharapkan dari hasil kajian geologi dan geokimia ini didapatkan gambaran awal potensi panas bumi daerah penelitian yang berupa kondisi geologi (geomorfologi, vulkanostratigrafi, dan struktur) berdasarkan hasil kajian data geologi dan geoindikator (*soil*, pH, isotop, dan temperatur) berdasarkan hasil kajian data geokimia.

METODOLOGI

Pada penelitian ini yang pertama dilakukan adalah melakukan studi literatur dari penelitian terdahulu, kemudian dilakukan analisis data geologi dan geokimia untuk mendapatkan; struktur geologi dan morfologi permukaan dari penginderaan jauh (geologi), data karakteristik manifestasi temperatur, pH, dan debit (geokimia). Dimana data yang digunakan merupakan data yang telah ada dari penelitian terdahulu (Sumintadireja, P., dkk. 2012). Setelah dilakukan analisis data geologi dan geokimia tersebut kemudian dilanjutkan ke proses integrasi data untuk

menentukan prospek awal daerah panas bumi Songa-Wayaua, Bacan, Maluku Utara.

1. Geologi

Survei geologi dilakukan untuk mengetahui keadaan permukaan daerah penelitian, baik itu berupa formasi batuan, struktur, bentang alam, dan lain sebagainya. Dari survei geologi ini diharapkan dapat memetakan kondisi geologi lapangan panas bumi Songa – Wayaua, Bacan, berupa: geomorfologi, vulkanostratigrafi, dan struktur geologi berdasarkan peta geologi regional, data geologi penelitian sebelumnya, serta data hasil analisis citra ALOS PALSAR.

Secara garis besar pekerjaan penginderaan jauh pada daerah panas bumi Songa – Wayaua adalah menganalisis morfologi permukaan dan kelurusan dengan menggunakan peta topografi dan citra ALOS PALSAR (orbit *ascending* dan *descending*) untuk menentukan struktur yang berkembang dan kaitannya dengan zona permeabilitas dan poros di daerah penelitian panas bumi Songa – Wayaua.

No	Tanggal	Orbit	Waktu	Path/Row
1	04 Februari 2011	Asc	14:13:55 UT	396/717
2	21 Juni 2010	Desc	01:40:44 UT	66/364

Tabel 1. Data ALOS PALSAR

Untuk menginterpretasi kelurusan diperlukan dua citra yaitu citra dengan orbit *ascending* dan *descending* hal ini dikarenakan penggunaan arah satelit yang berbeda diperlukan untuk menghindari efek bayangan dalam citra. Orbit *ascending* (menuju utara) merupakan satelit yang mengamati dari arah barat (melihat dari kanan) dan orbit *descending* (menuju selatan) merupakan satelit yang mengamati dari arah timur (melihat dari arah kiri).

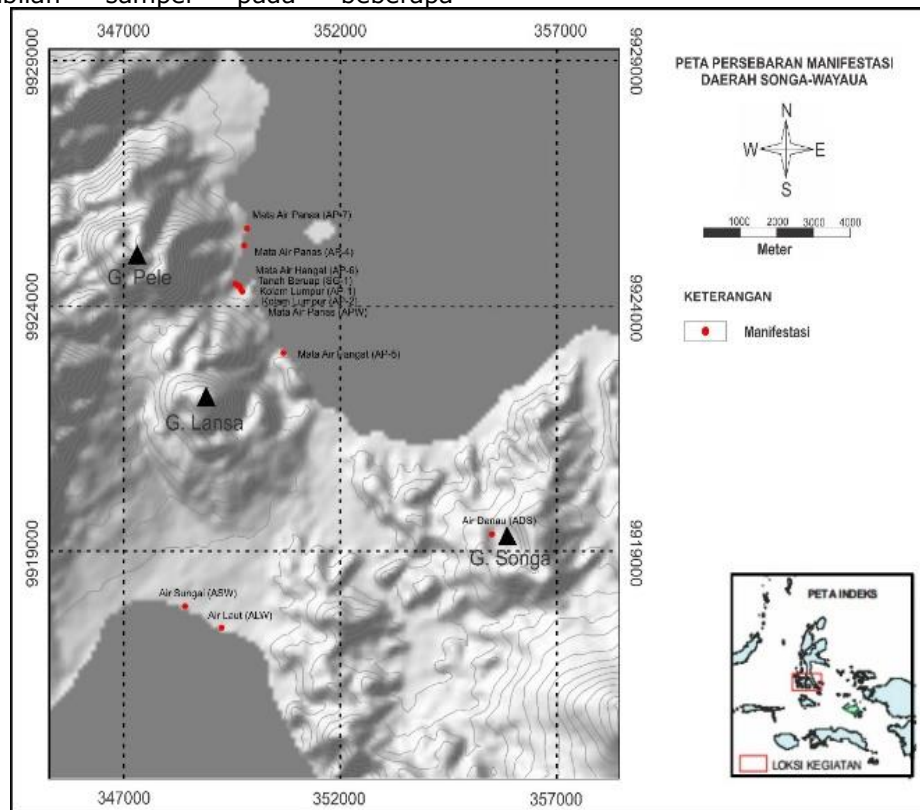
Analisis kelurusan pada citra ALOS PALSAR dilakukan secara manual dengan menggunakan dua citra ALOS PALSAR orbit *ascending* dan *descending*. Kelurusan ditarik secara manual bersesuaian dengan linearitas dari linearitas pegunungan, lembah, dan sungai. Kelurusan orbit *ascending* dan *descending* kemudian digabungkan menjadi satu peta untuk mengetahui seluruh fitur linier yang terdeteksi serta untuk menentukan kelurusan utama struktur geologi.

2. Geokimia

Komposisi kimia beberapa mata air panas dapat memberikan informasi tentang kemungkinan bentuk alur hidrologi, dan memberikan pola, data, jenis manifestasi dan

karakteristik kimiawi fluida panas bumi yang diperlukan untuk merefleksikan derajat pencampuran antara air dingin permukaan dengan air panas yang berasal dari reservoir panas bumi (Wohletz & G. Heiken, 1992). Pada survei geokimia ini dilakukan pengambilan sampel pada beberapa

manifestasi dan tanah yang kemudian dianalisis sehingga didapatkan geoindikator lapangan panas Songa - Wayaua, Bacan. Studi geokimia daerah panas bumi Songa - Wayaua, Bacan, Maluku Utara berdasarkan data dari 8 buah manifestasi.



Gambar 1. Peta persebaran manifestasi daerah Songa - Wayaua, Bacan

2.1 Manifestasi mata air hangat

Tabel 2. Karakteristik manifestasi mata air hangat

No		1	2
Lokasi		Pele - Pele	Pele - Pele
Kode		AP-5	AP-6
Jenis Manifestasi		Mata air hangat	Mata air hangat
Koordinat (UTM)	X	350645	349659
	Y	9923128	9924507
Temperatur (°C)	Udara	33,1	34,0
	Manifestasi	44,6	42,3
pH		6,75	6,48
ORP (mV)		34,5	102,9
Q (L/s)		0,08	0,16
Karakteristik Manifestasi		Dimensi 0.3 x 0.3 m, mata air, air jernih, tidak tercium bau belerang.	Dimensi 0.4 x 1 m, mata air, air jernih, tidak tercium bau belerang.

2.2 Manifestasi mata air panas

Tabel 3. Karakteristik manifestasi mata air panas

No		1	2	3
Lokasi		Pele - Pele	Pele - Pele	Pele - Pele
Kode		AP-1	AP-2	AP-3
Jenis Manifestasi		Kolam Lumpur	Kolam Lumpur	Mata Air Panas
Koordinat (UTM)	X	349775	349731	349705
	Y	9224375	9924457	9924482

No		1	2	3
Temperatur (°C)	Udara	34.4	36.0	34.2
	Manifestasi	89.6	98.6	96.4
pH		3.12	5.13	6.29
K (mEv)		237.8	129.6	65
Q (L/s)		Tidak dapat dihitung	Tidak dapat dihitung	4.9
Karakteristik Manifestasi		Dimensi 1.5 x 2 m, kolam Lumpur, lumpur panas, air keruh, tercium sedikit bau belerang, tanah sekitarnya hangat, sinter silika.	Dimensi 0.16 x 0.16 m, kolam lumpur, lumpur panas, air keruh, tercium sedikit bau belerang, tanah sekitarnya hangat, sinter silika.	Dimensi 0.25 x 1 m, mata ait, air jernih, tidak tercium bau belerang, endapan garam.

No		4	5	6
Lokasi		Pele - Pele	Pado - Pado	Wayaua
Kode		AP-4	AP-7	APW
Jenis Manifestasi		Mata Air Panas	Mata Air Panas	Mata Air Panas
Koordinat (UTM)	X	349829	349885	350995
	Y	9925286	9925632	9014916
Temperatur (°C)	Udara	32.6	32.1	33.1
	Manifestasi	98.8	82.5	62.4
pH		5.86	6.49	6.09
K (mEv)		92.8	49.5	91
Q (L/s)		Tidak dapat dihitung	Tidak dapat dihitung	-
Karakteristik Manifestasi		Dimensi 0.5 x 1 m, mata air, air jernih, tidak tercium bau belerang, endapan garam.	Manifestasi keluar dari dalam dalam pasir, tidak berbau, jernih.	Dimensi 50 x 10 m, tidak berbau, gelembung gas, jernih.

2.3 Manifestasi kolam lumpur dan tanah beruap

Tabel 4. Karakteristik manifestasi kolam lumpur dan tanah beruap

No		1	2
Lokasi		Pele - Pele	Pele - Pele
Kode		SG-1	SG-2
Jenis Manifestasi		Mata air panas/ Lumpur	Tanah beruap
Koordinat (UTM)	X	349718	349591
	Y	9924462	9924334
Temperatur (°C)	Udara	33,1	34,0
	Manifestasi	98,6	86,0
pH		5,13	6,76
ORP (mV)		129,6	-
Karakteristik Manifestasi		Dimensi 0.3 x 0.5 m, kolam lumpur, lumpur panas, air keruh, tanah sekitarnya hangat, asap berwarna putih, endapan travertin	Dimensi 5 x 10 m, tanah beruap, tanah kemerahan, asap berwarna putih.

2.4 Air Dingin

Tabel 5. Karakteristik air dingin

No		1	2
Lokasi		Pele - Pele	Songa
Kode		ALP	ADS
Jenis		Air laut	Air danau
Koordinat (UTM)	X	349647	354992
	Y	9924518	9919487
Udara		34,0	27,6

Temperatur (°C)	Manifestasi	40,3	31,5
pH		6,33	7,63
ORP (mEv)		54,1	42,7
Karakteristik Manifestasi		Air jernih.	Diameter danau ± 800 meter, air jernih.

No	3	4
Lokasi	Wayaua	Wayaua
Kode	ASW	ALW
Jenis	Air sungai	Air laut
Koordinat (UTM)	X	348594
	Y	9918042
Temperatur (°C)	Udara	28,4
	Manifestasi	32.1
pH		7,94
ORP (mEv)		15,9
Karakteristik Manifestasi	± 100 meter dari pantai, air jernih.	Pinggir pantai, sampel adalah air laut, jernih.

Hasil dan Pembahasan

1. Geologi

1.1 Geomorfologi

Berdasarkan hasil analisis citra ALOS PALSAR serta survei sebelumnya, geomorfologi pada lapangan penelitian Songa - Wayaua, Bacan, terdiri dari 5 satuan, berupa:

- Satuan Perbukitan Kompleks

Berdasarkan hasil observasi lapangan, batuan yang berada dalam satuan ini adalah batuan metamorf.

- Satuan Perbukitan Vulkanik

Berdasarkan hasil observasi lapangan batuan yang berada dalam satuan ini adalah batuan beku basaltik dan piroklastik.

- Satuan Lembah Vulkanik

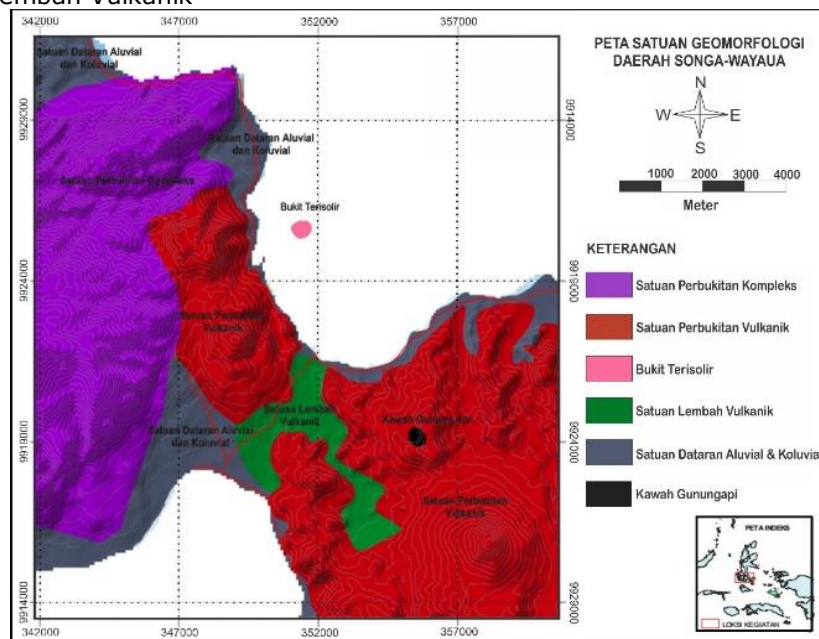
Berdasarkan hasil observasi lapangan batuan yang berada dalam satuan ini adalah batuan piroklastik, batulempung dan *unconsolidated conglomerate*.

- Bukit Terisolir

Diperkirakan Pulau Gamjaha merupakan hasil intrusi dari sumber yang sama dengan dapur magma Bukit Lansa.

- Satuan Dataran Aluvial dan Koluviat

Secara garis besar, satuan ini diperlihatkan oleh bentuk kontur yang renggang - sangat renggang. Hal ini mencerminkan bahwa satuan ini disusun oleh batuan dengan litologi yang tidak kompak, lepas-lepas dan tingkat erosi tinggi.



Gambar 2. Peta satuan morfologi (modifikasi Sumintadireja dkk, 2012)

1.2 Vulkanostratigrafi

Vulkanostratigrafi pada lapangan penelitian panas bumi Bacan, Songa terdiri dari 16 satuan dari umur muda ke tua, sebagai berikut:

- Satuan Endapan Aluvial (Al)

Satuan ini tersusun atas material lepas, terdiri dari komponen polimik, berukuran kerikil sampai bongkah, terdiri dari aneka batuan seperti batugamping, andesit, basalt, sekis, serpentin, konglomerat dan breksi, menyudut - membundar.

- Satuan Endapan Koluvial (Qkw)

Satuan ini tersusun atas material lepas, terdiri dari komponen polimik, berukuran bongkah, terdiri dari aneka batuan seperti batugamping, andesit, basalt, sekis, serpentin, konglomerat dan breksi, menyudut-membundar.

- Satuan Endapan Maar Gunung Songa (Qms)

Komposisi penyusun satuan ini adalah komposisi-material dengan jenis batuan beku. Satuan ini menempati 1 % daerah penelitian.

- Satuan Lava Gunung Songa (Qls)

Satuan ini merupakan hasil erupsi parasit dari pusat erupsi Gunung Bibinói yang membentuk *Maar*, dan Danau Lepa merupakan produk dari erupsi *phreatic*. Erupsi *phreatic* terjadi bila magma yang naik bersentuhan dengan air tanah (*ground water*) atau air permukaan. Suhu ekstrim dari magma 600 - 1.170° C menyebabkan evaporasi uap secara instan yang menghasilkan ledakan uap, air, abu, batuan dan fragmen batuan, namun inklusi lava tidak umum. Temperatur fragmen batuan dapat berkisar dari dingin hingga membara. Bila ada material magmatik membara yang terbawa saat terjadi erupsi disebut *freato-magmatik*. Erupsi ini kadang membentuk kawah yang lebar dengan relief rendah disebut sebagai "*maar*".

- Satuan Lava Gunung Bibinói (Qlb)

Basalt, hitam, afanitik, vesikuler, ekigranular, mineralogi plagioklas. Secara megaskopis, satuan ini di deskripsikan sebagai basalt, hitam, afanitik, vesikuler, ekigranular, mineralogi plagioklas.

- Satuan Jatuhan Piroklastik Gunung Pele (Qjp)

Satuan ini adalah batuan piroklastik berlapis baik, bersifat andesitis dengan komposisi mineral plagioklas, K-feldspar, kuarsa, bergradasi kasar-halus ke arah atas (*graded bedding*), relatif urai (*loose*), kadang ditemukan struktur silang siur dan lapilli terakresi. Satuan ini tampak menutupi satuan andesit Lansa (Qll). Satuan ini menempati 1 % daerah penelitian.

- Satuan Lava Gunung Pele (Qlp)

Satuan Lava Gunung Pele bersama dengan Satuan Lava Gunung Lansa muncul pada kelurusan (*lineament*) berarah NNW - SSE. Secara megaskopis satuan ini dideskripsikan sebagai andesit, putih keabuan, anhedral-subhedral, inekigranular, porfiritik, dengan mineralogi piroksen, plagioklas, hornblenda, kuarsa, K-felspar.

- Satuan Lava Gunung Lansa (Qll)

Litologi penyusunnya didominasi oleh andesit. Di beberapa tempat ditemukan trakoandesit, namun batuan tersebut telah mengalami proses ubahan (*alterasi*). Satuan ini menempati 3 % daerah penelitian. Berdasarkan penampang, ketebalan satuan ini sekitar 260 meter. Secara megaskopis satuan ini dideskripsikan sebagai andesit, putih keabuan, anhedral-subhedral, inekigranular, porfiritik, mineralogi piroksen, plagioklas, hornblenda, kuarsa, K-felspar. Trakoandesit, merah kecoklatan, subhedral, inekigranular, afanitik, mineralogi piroksen, hornblenda, K-felspar, plagioklas, kuarsa.

- Satuan Aliran Piroklastik Gunung Bibinói (Qab)

Satuan ini adalah piroklastik aliran hasil erupsi Gunung Bibinói. Berdasarkan pengamatan lapangan, singkapan ini terdiri atas bongkah-bongkah besar dan kecil yang bercampur dalam matriks kerikil dan abu bersifat kacaan, tidak ada gradasi, terpilah buruk, terkompaksi. Komponen-komponen dari aliran piroklastik ini di punggung bukit yang berada di selatan sungai besar di Desa Bibinói. Berdasarkan analisis petrografi, fragmen batuan ini berkomposisi andesit-basaltis, kompak, agak lapuk, hitam keabuan, afanitik, euhedral, ekigranular, dengan mineralogi utamanya plagioklas dan piroksen. Satuan aliran piroklastik ini menempati 2 % daerah penelitian.

- Satuan Jatuhan Piroklastik Gunung Bibinói (Qjb)

Litologi penyusun satuan ini adalah batuan piroklastik. Kenampakan di lapangan terlihat batuan campuran yang mungkin merupakan hasil dari aliran lahar panas Gunung Songa. Singkapan terbaik berada di jalan utama dari desa Songa menuju desa Bibinói, di selatan dan utara jalan, dengan komponen singkapan berisi fragmen-fragmen batuan beku, konglomerat, breksi dan batugamping berada didalam masa dasar pasir lepas, berdimensi panjang 20 meter x tinggi 20 meter. Satuan ini menempati 4% daerah penelitian dengan ketebalan berdasarkan penampang sekitar 30 m.

- Satuan Lava Gunung Bibinói Tua (Qlbt)

Basalt, hitam, afanitik, vesikuler, ekigranular, mineralogi plagioklas.

- Satuan Lava Gamjaha (Qvg)

Bulletin of Scientific Contribution: GEOLOGY, Volume 19, Nomor 2, Agustus 2021 : 107 – 124

- Satuan Batugamping (Qgt)

Litologi penyusun satuan ini adalah batugamping terumbu. Secara megaskopis batugamping ini dideskripsikan sebagai batugamping berwarna putih-krem, kemas tertutup, sorting sedang-buruk, semen kalsit, matriks karbonatan, *pack to grainstone*, porositas *vuggy*.

- Satuan Granit Tawa (Tmgt)

Satuan granit tawa berada pada sebelah utara dari Bukit Sibela berupa retas yang menerobos satuan metamorfik (Km) yang melalui jalur lemah sesar mendatar Tawa. Di beberapa tempat dijumpai mineral molybdenit dan pirit. Retas granitik demikian yang

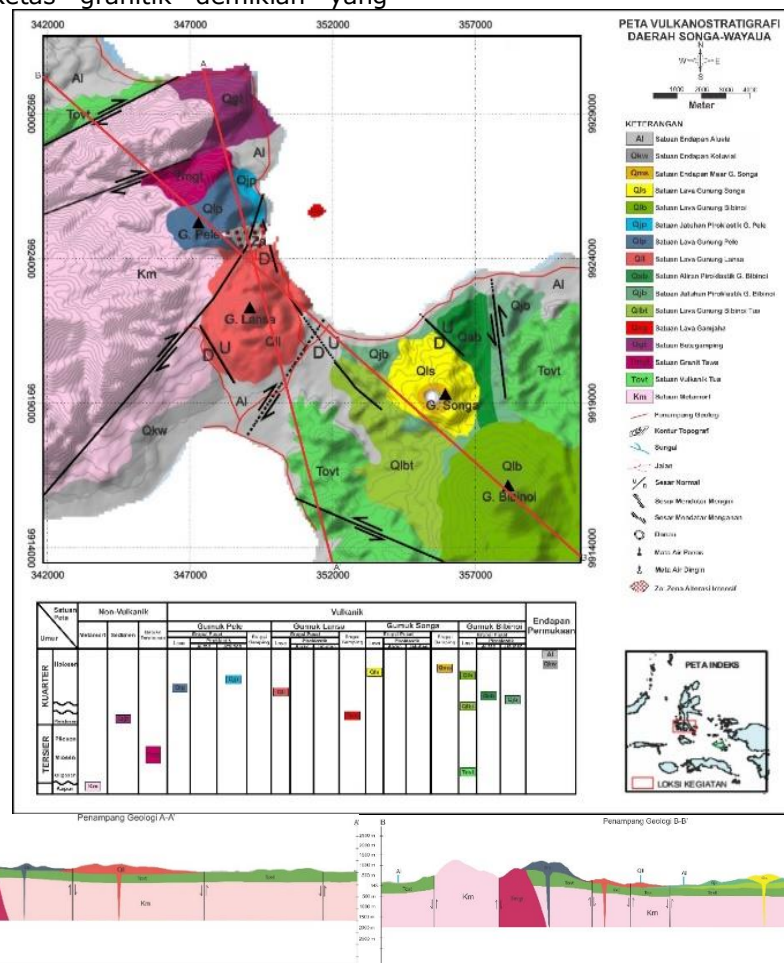
mungkin menyebabkan terjadinya mineralisasi pada satuan metamorfik disini. Litologi pada satuan ini adalah granit dan berwarna merah pada peta vulkanostratigrafi.

- Satuan Vulkanik Tua (Tovt)

Litologi penyusunnya adalah basalt. Merupakan batuan dasar pada daerah penyebaran pusat erupsi Gunung Bibinoi. Basalt, kehijauan, afanitik, euhedral-subhedral, ekigranular, sebagian mineral teralterasi menjadi klorit, mineralogi plagioklas. Satuan ini merupakan hasil erupsi dari Gunung Jare.

- Satuan Metamorf (Km)

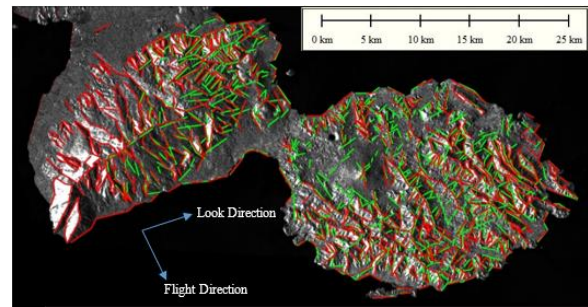
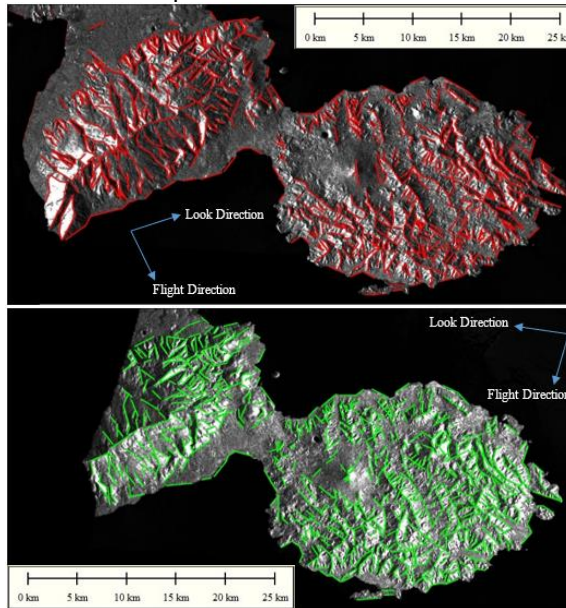
Satuan metamorf merupakan batuan tertua di daerah penelitian, dengan dominasi batuan serpentin pada bagian utara dari Satuan metamorf dan sekis pada bagian selatannya. Merupakan batuan dasar pada daerah pusat penyebaran erupsi Bukit Lansa. Serpinitit, berwarna hijau kehitaman, berstruktur lamelar, terdiri atas mineral serpentin, dan mineral mafik, terdapat kekar-kekar dan di sebagian tempat terdapat urat kalsit. Sekis, berwarna abu-abu kehitaman, *schistose*, lepidoblastik, terdiri atas mineral mika (muskovit dan biotit).



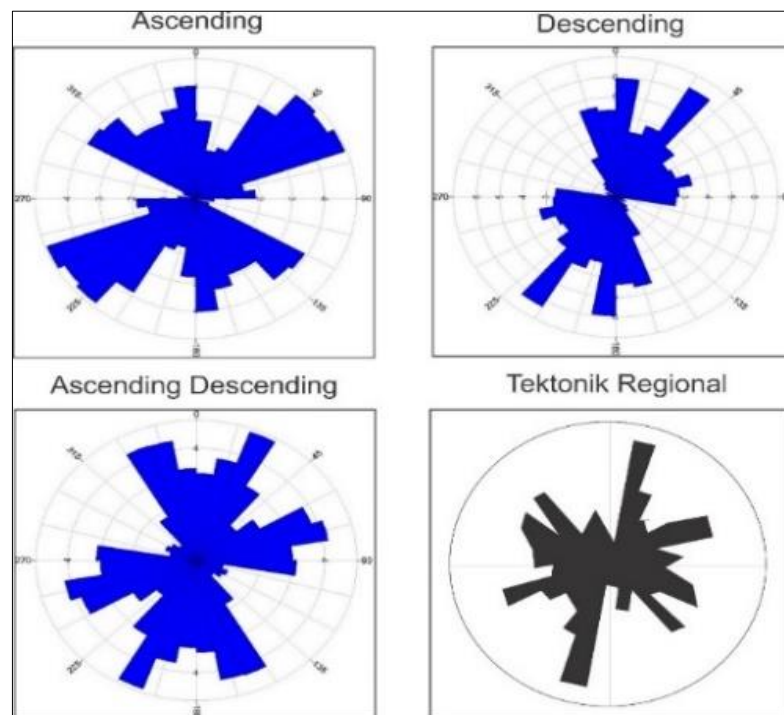
Gambar 3. Peta vulkanostratigrafi dan penampang geologi (modifikasi Sumintadireja dkk, 2012)

1.3 Citra ALOS PALSAR

1.3.1 Analisa permukaan



Gambar 3. Kelurusan pada citra ALOS PALSAR orbit *ascending* (merah) dan *descending* (hijau) yang telah digabung pada citra ALOS PALSAR mode *ascending*. Dari hasil penarikan kelurusan dari citra ALOS PALSAR *ascending* dan *descending* didapatkan bahwa terdapat dua arah kelurusan yang umum pada lokasi penelitian, yaitu timurlaut - baratdaya dan baratlaut - tenggara, hal ini juga dibuktikan dari pengeplotan pada diagram roset dari data kelurusan tersebut yang menunjukkan arah yang sama. Arah kelurusan ini kemudian divalidasi dengan arah tektonik regional daerah penelitian yang menunjukkan arah yang sama timurlaut - baratdaya dan baratlaut - tenggara.



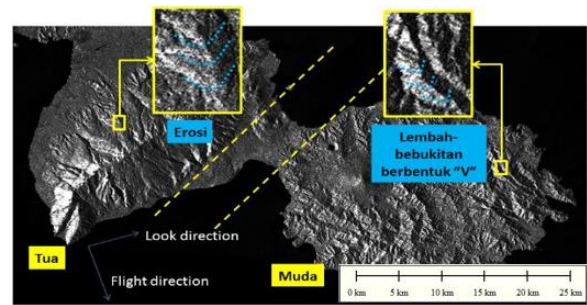
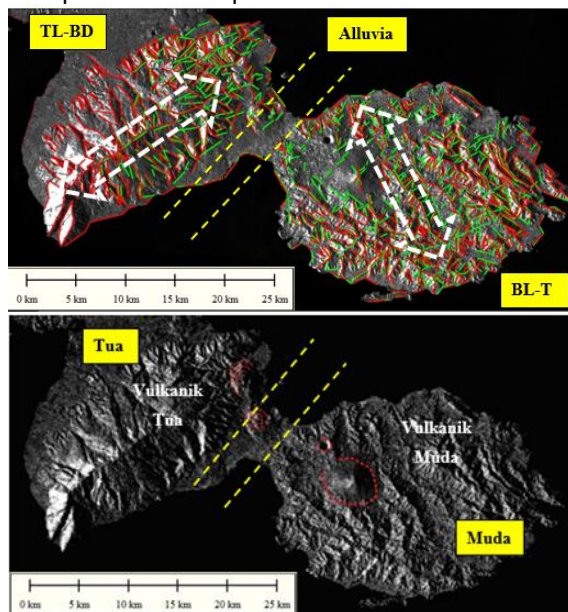
Gambar 4. Diagram roset hasil analisis kelurusan dari citra ALOS PALSAR

Kelurusan - kelurusan tersebut dikelompokkan menjadi dua grup berdasarkan pola orientasi umumnya. Pola pertama adalah timurlaut - baratdaya di bagian utara pulau dan kedua adalah baratdaya - tenggara di bagian selatan pulau. Diantara dua pola ini dipisahkan oleh daerah yang memiliki pola kelurusan jarang dan diintegrasikan sebagai dataran (*Plain*).

Morfologi umum daerah penelitian berupa kerucut vulkanik dimana disebelah tenggara daerah penelitian terdapat kerucut vulkanik yang bentuknya masih sempurna, diperkirakan merupakan bagian dari vulkanik muda dan disebelah baratlaut terdapat kelompok kerucut vulkanik yang bentuknya sudah tidak sempurna, diperkirakan

merupakan bagian dari vulkanik tua pada daerah penelitian.

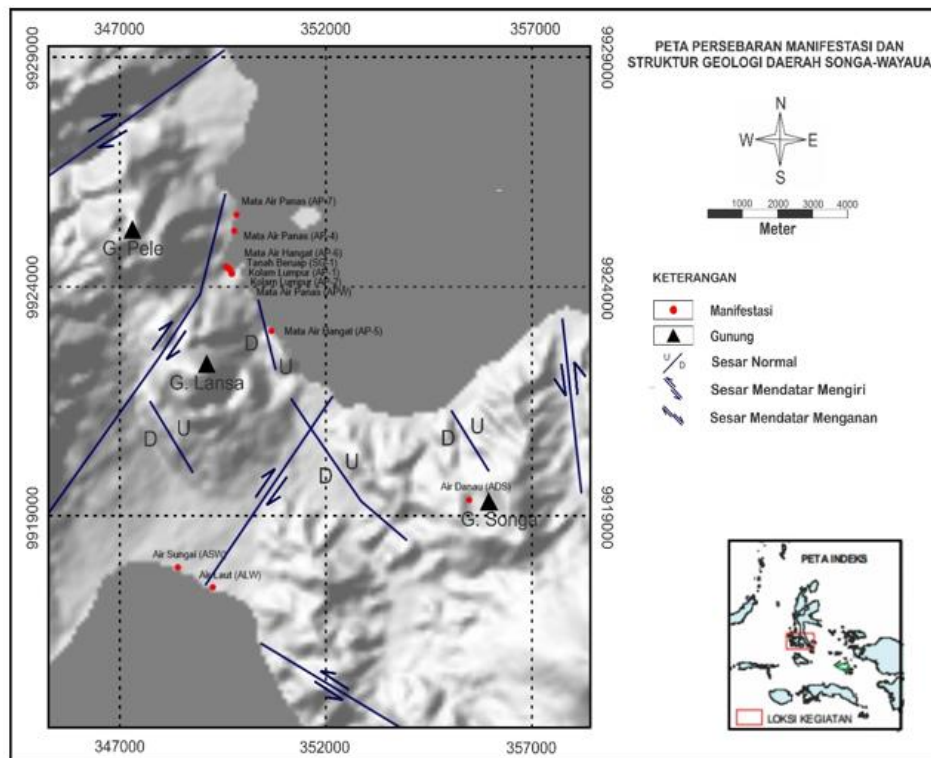
Dari hasil analisis proses erosi permukaan oleh citra ALOS PALSAR didapatkan bahwa telah terjadi erosi yang intensif pada daerah penelitian sebelah baratlaut - barat dilihat dari morfologi yang berbentuk "U" di permukaan dan terjadi erosi yang sewajarnya pada daerah penelitian sebelah tenggara - timur dilihat dari morfologi yang berbentuk "V" (Gambar 5). Nilai erosi yang intensif, diperkirakan sebagai akibat dari susunan formasi yang lebih tua, sedangkan daerah sebelah tenggara - timur dapat diinterpretasikan sebagai formasi yang lebih muda, sehingga dapat dikatakan bahwa formasi batuan disebelah baratlaut - barat daerah penelitian memiliki umur yang lebih tua dibandingkan dengan formasi batuan disebelah tenggara - timur daerah penelitian. Umur formasi batuan ini juga dibuktikan dengan adanya kenampakan gunungapi yang masih berbentuk kerucut sempurna disebelah selatan - tenggara yang diperkirakan memiliki umur lebih muda dibandingkan bentuk gunungapi disebelah utara - baratlaut yang sudah berbentuk kawah hancur (*crater*) dengan perkiraan umur yang lebih tua. Informasi umur formasi batuan relatif ini berguna untuk membantu dalam memperkirakan kemungkinan sudah terbentuk dengan sempurna atau belum komponen sistem panas bumi itu sendiri.



Gambar 5. Hasil analisa citra ALOS PALSAR

Dari hasil analisis kelurusan pada citra ALOS PALSAR, didapatkan 10 struktur utama yang berada di daerah penelitian Songa - Wayaua, Bacan (Gambar 6), yaitu:

- a. Kelompok sesar mendatar menganan berarah timur laut - baratdaya berada disebelah barat laut lokasi penelitian (Sesar Baban 1 dan Sesar Babang 2).
- b. Sesar mendatar menganan berarah timur laut - baratdaya memanjang dari ujung baratdaya daerah penelitian sampai ke daerah air panas Pele - Pele dan diperkirakan menerus sampai ke daerah Pado - Pado yang berada di tengah lokasi daerah penelitian. Sesar tersebut menunjukkan blok utara relatif bergerak ke kanan terhadap blok selatan (Sesar Pele).
- c. Sesar normal berarah utara barat laut - selatan tenggara, memanjang dari Pele - Pele ke selatan. Sesar ini berada di tengah dari lokasi daerah penelitian. Blok sebelah barat sesar ini relatif bergerak turun dibandingkan dengan blok sebelah timurnya (Sesar Songa 1).
- d. Sesar normal berarah barat laut - tenggara yang berada di tengah utara daerah penelitian diperkirakan merupakan kemenerusan dari sesar normal yang berasal dari Pele - Pele. Blok sebelah baratdaya sesar ini relatif bergerak turun dibandingkan dengan blok sebelah timur laut (Sesar Songa 2).
- e. Kelompok sesar normal berarah barat laut - tenggara yang berada di tengah dan timur daerah penelitian. Blok sebelah baratdaya sesar ini relatif bergerak turun dibandingkan dengan blok sebelah timur laut (Sesar Lansa dan Sesar Songa 3).
- f. Sesar mendatar menganan berarah timur laut - baratdaya berada di tengah lokasi penelitian (Sesar Wayaua).
- g. Kelompok sesar mendatar mengiri berarah barat laut - tenggara dan utara - selatan yang berada disebelah tenggara dan timur daerah penelitian (Sesar Bibinoi 1 & Sesar Bibinoi 2).



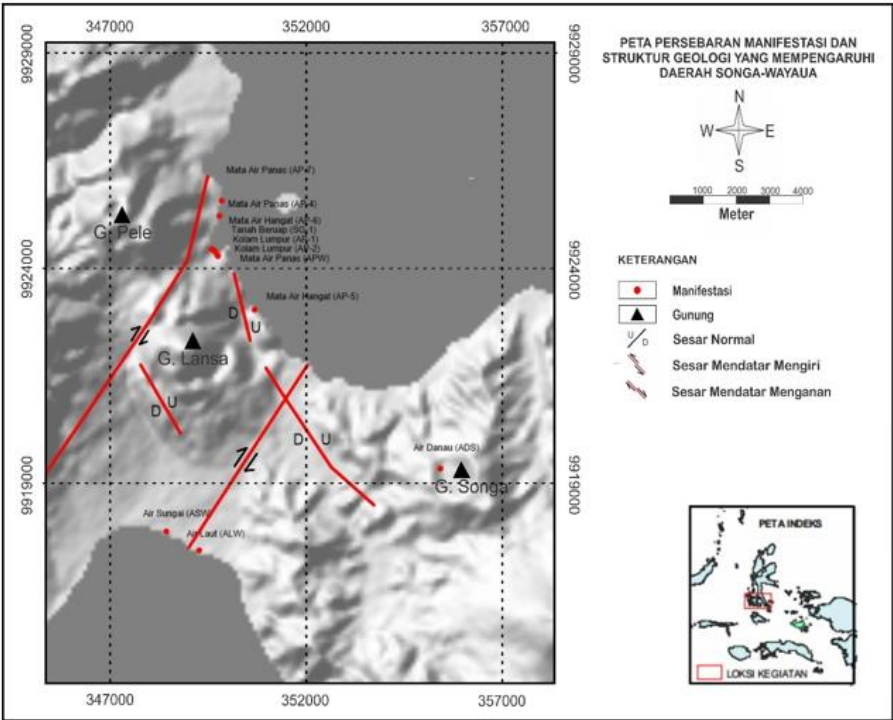
Gambar 6. Peta interpretasi kelurusan utama daerah penelitian

Struktur geologi di daerah Songa - Wayaua, Bacan dikontrol oleh tatanan tektonik yang disebabkan oleh sesar Sorong. Perkembangan struktur di daerah penelitian sangat dipengaruhi oleh pergerakan miring sesar Sorong. Kompleks batuan metamorf di pulau Bacan yang merupakan *basement* dari pulau Bacan adalah bagian dari lempeng benua Australia yang terbawa oleh sesar Sorong dan deformasi kompleks ofiolit di Bacan diperkirakan disebabkan oleh magmatisme di zona sesar, hal ini yang menyebabkan daerah penelitian terdapat pada zona sesar yang disebabkan sesar Sorong (Hall, 2000). Diperkirakan terdapat lima (5) sesar pengontrol sistem panas bumi di daerah Songa - Wayaua, Bacan (Gambar 7), yaitu:

- Sesar mendatar menganan berarah timurlaut - baratdaya, memanjang dari ujung baratdaya daerah penelitian sampai ke daerah air panas Pele - Pele dan diperkirakan menerus sampai ke daerah Pado - Pado yang berada di tengah lokasi daerah penelitian. Sesar tersebut menunjukkan blok utara relatif bergerak ke kanan terhadap blok selatan (Sesar Pele).
- Sesar normal berarah utara baratlaut - selatan tenggara, memanjang dari Pele -

Pele ke selatan. Sesar ini berada di tengah dari lokasi daerah penelitian. Blok barat sesar ini relatif bergerak turun dibandingkan dengan blok timurnya (Sesar Songa 1).

- Sesar normal berarah baratlaut - tenggara yang berada di tengah daerah penelitian diperkirakan merupakan kemenerusan dari sesar normal yang berasal dari Pele - Pele. Perubahan arah disebabkan karena perbedaan densitas dari bidang lemah yang ada pada litologi di sekitarnya. Blok baratdaya sesar ini relatif bergerak turun dibandingkan dengan blok timurlaut (Sesar Songa 2)
- Sesar normal berarah baratlaut - tenggara yang berada di tengah daerah penelitian (Tabajaya). Blok baratdaya sesar ini relatif bergerak turun dibandingkan dengan blok timurlaut (Sesar Lansia)
- Sesar mendatar menganan berarah timurlaut - baratdaya yang berada di tengah daerah penelitian. Blok timurlaut yang relatif bergerak ke kanan dibanding blok baratdaya. Sesar ini diperkirakan yang mengontrol kemunculan manifestasi air dingin yang berada di pesisir pantai Desa Wayaua (Sesar Wayaua).

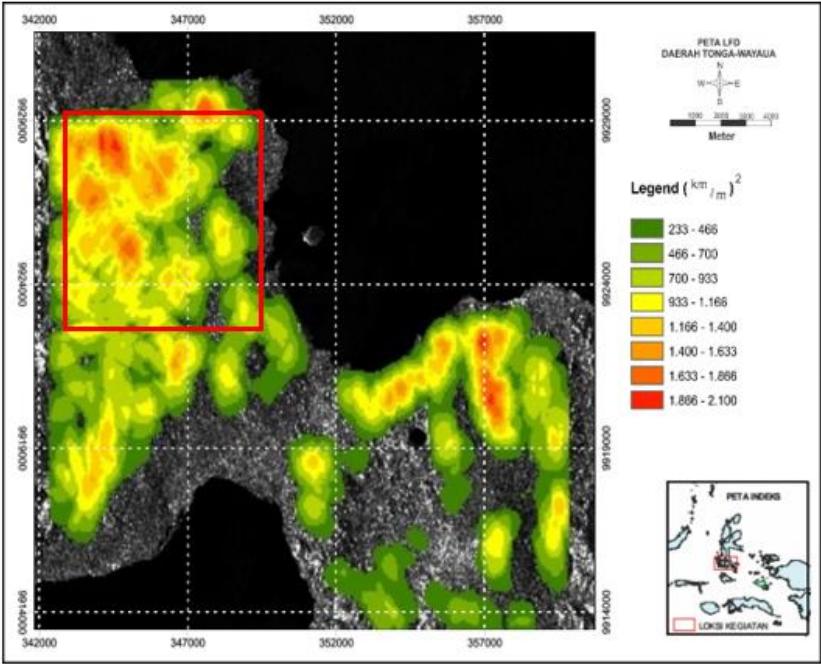


Gambar 7. Peta sesar utama yang mengontrol daerah penelitian

Kelima sesar di atas diperkirakan merupakan sesar yang menyebabkan munculnya manifestasi air panas, air dingin, tanah panas, lumpur panas, sinter silika dan batuan ubahan di daerah penelitian, sehingga dapat dikatakan bahwa daerah sekitar sesar - sesar tersebut berada pada daerah yang memiliki permeabilitas tinggi. Sebagai zona permeabilitas tinggi, struktur sesar - sesar ini memiliki arti penting, hal ini dikarenakan dapat dijadikan prioritas bagi target pemboran nantinya.

1.3.3 LFD

Kelurusan yang telah diinterpretasi dikelompokkan dalam suatu area berukuran 1x1 km. Setiap kelurusan yang terdapat dalam area dijumlahkan dan diplot di tengah area tersebut sehingga didapat suatu sebaran nilai densitas. Sebaran densitas tersebut dikontur hingga menghasilkan peta densitas kelurusan (LFD) yang dapat dihubungkan sebagai area dengan permeabilitas yang tinggi.

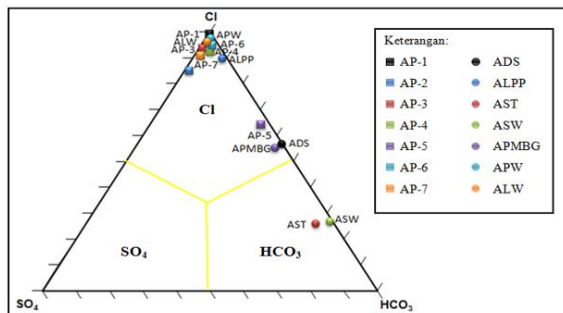


Gambar 8. Peta densitas kelurusan (LFD)

Warna merah pada peta di atas menunjukan densitas kelurusan yang tinggi, sedangkan warna hijau menunjukan densitas kelurusan yang rendah. Dari keterangan ini dapat di analisis bahwa terdapat anomali tinggi pada sebelah barat laut ditunjukkan dengan kotak merah dan disebelah timur daerah penelitian yang dapat diinterpretasi sebagai area dengan permeabilitas yang tinggi. Area permeabilitas yang tinggi pada suatu sistem geotermal memungkinkan sebagai daerah tangkapan air atau *recharge area* dan dapat juga berfungsi sebagai daerah luaran atau *outflow*.

2. Geokimia

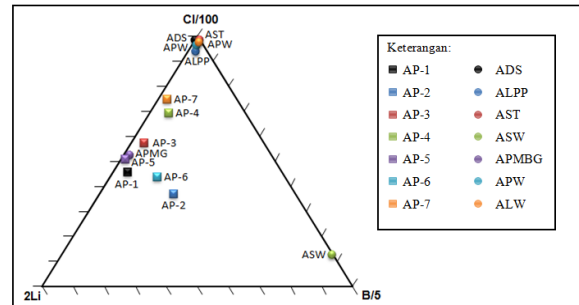
2.1 Proporsi Relatif Cl-HCO₃-SO₄ dan Tipe Air
Air klorida merupakan air yang paling dominan terbentuk pada suatu sistem panas bumi. Air ini mengandung Cl⁻ sebagai anion utamanya. Unsur terlarut lain adalah kation Na⁺, K⁺, dan Ca²⁺. Di sekitar mata air panas yang mengeluarkan air tipe ini umumnya terbentuk sinter silika. Hal ini disebabkan oleh fluida panas bumi yang jernih akan silika amorf. Mata air panas klorida dengan debit keluaran yang tinggi merupakan air yang paling baik digunakan untuk mengetahui kondisi reservoir. Tipe air pertama merupakan tipe air klorida yang ditunjukkan oleh fluida dari manifestasi AP-1, AP-2, AP-3, AP-4, AP-6, AP-7, dan APW. Tipe air ini menunjukkan air reservoir yang dicirikan oleh pH mendekati netral, air jernih, dan keterdapatn endapan sinter silika di dekat manifestasi



Gambar 9. Diagram Cl-SO₄-HCO₃ (modifikasi Sumintadireja dkk, 2012)

Tipe air kedua adalah air klorida - bikarbonat yang ditunjukkan oleh fluida manifestasi AP-5 dan APMBG. Manifestasi ini merupakan mata air hangat dengan pH mendekati netral (6.23 - 6.75) dan berair jernih. Air klorida - bikarbonat dapat terbentuk dari pencampuran antara air klorida dengan air tanah atau pencampuran air klorida dengan air bikarbonat. Untuk itu, data isotop dan geoindikator digunakan untuk mengkonfirmasi adanya proses pencampuran ini.

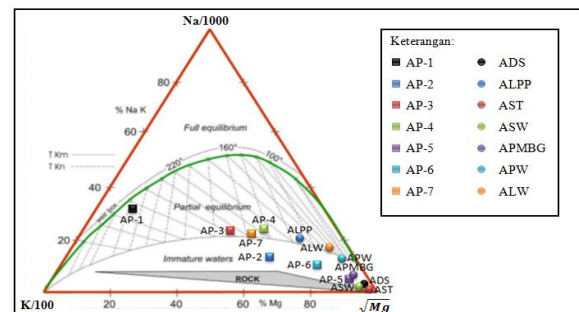
2.2 Proporsi Relatif Cl-Li-B dan Asal Reservoir
Berdasarkan hasil *ploting* kandungan ketiga unsur tersebut pada diagram segitiga Cl-Li-B, fluida pada kelompok manifestasi daerah Songa - Wayaua menunjukkan nilai Cl yang tinggi. Pengelompokan komposisi Cl-Li-B dari manifestasi di daerah Songa - Wayaua menunjukkan bahwa fluida manifestasi tersebut berasal dari reservoir yang sama.



Gambar 10. Diagram Cl-Li-B (modifikasi Sumintadireja dkk, 2012)

2.3 Proporsi Relatif Na-K-Mg dan Kesetimbangan Fluida

Proporsi relatif Na-K-Mg pada fluida panas bumi dapat digunakan untuk mengenali fluida yang telah mencapai kesetimbangan dengan *host litology*-nya. Fluida dari manifestasi Pado - Pado dan Pele - Pele Pesisir berada di daerah *partial equilibrium*. Fluida dari manifestasi Pele - Pele Besar dan Wayaua berada di daerah *immature water*.



Gambar 11. Diagram Na-K-Mg (modifikasi Sumintadireja dkk, 2012)

2.4 Isotop dan Asal Air

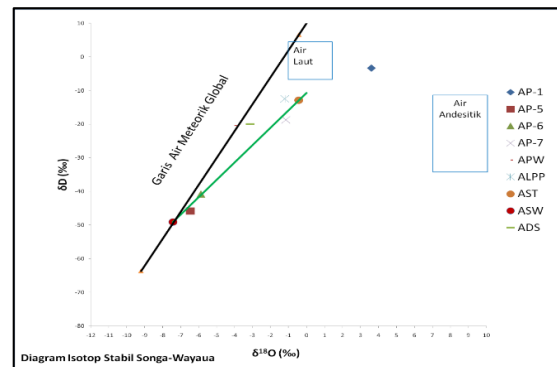
Apabila dikaitkan dengan hasil analisis geokimia air terjadi perbedaan analitis yaitu dengan tingginya kandungan Cl pada air panasnya yang terdapat di sekitar Pele - Pele dan Pado - Pado. Pada kimia air, pencampuran dengan air laut dapat diindikasikan oleh konsentrasi unsur terlarut (terutama Cl, Na, dan Ca) yang lebih tinggi dibandingkan konsentrasi unsur terlarut lainnya. Untuk mengetahui apakah kandungan Cl ini berasal dari magmatik atau air laut dapat diketahui melalui hasil analisis isotop stabil, dan hasilnya memang menunjukkan ada *mixing* dengan air laut dan kemungkinan besar sampel air panas di

daerah ini dipengaruhi oleh adanya *influx air laut* dikarenakan lokasi manifestasi yang berada di dekat pantai. Berdasarkan hasil analisis isotop stabil Deuterium (δD) dan Oksigen 18 ($\delta^{18}O$) masing-masing air panas yang muncul di daerah penelitian mempunyai kisaran kandungan isotop stabil $\delta^{18}O$ antara -7,43 hingga 3,61 ‰ dan isotop stabil δD antara -49,1 hingga -3,3 ‰ (0). Sedangkan hasil analisis isotop yang diambil pada air laut di Pantai Pele - Pele mengandung $\delta^{18}O$ sebesar -1,2 ‰ dan δD sebesar -12,5 ‰ (0).

Tabel 6. Tabel kandungan isotop stabil δD dan $\delta^{18}O$

Deuterium	Oxygen-18	Kode
-3,3	3,61	AP-1
-45,9	-6,46	AP-5
-40,8	-5,88	AP-6
-18,8	-1,14	AP-7
-12,5	-1,2	ALPP
-12,9	-0,43	AST
-49,1	-7,43	ASW
-20	-3,12	ADS
-20,4	-4,01	APW

Air meteorik lokal diambil dari air sungai Tawa dan air danau Songa yang mempunyai kandungan isotop stabil $\delta^{18}O$ dan δD yang sedikit bergeser kearah kanan dibanding air meteorik global. Hal ini terjadi karena banyaknya air panas yang keluar di sepanjang Pantai Pele - Pele sehingga terjadi pencampuran antara air laut dan air panas.



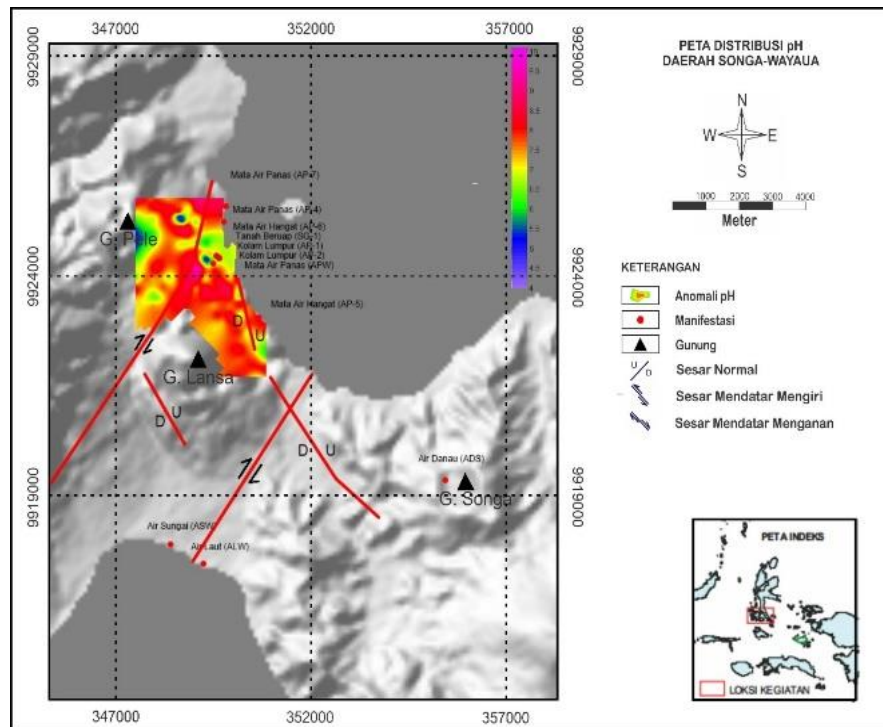
Gambar 12. Diagram isotop stabil $\delta^{18}O$ dan δD (modifikasi Sumintadireja dkk, 2012)

Dari diagram isotop di atas didapatkan bahwa air panas di lokasi APW, AP5, AP6, dan AP7 mempunyai kandungan isotop stabil $\delta^{18}O$ dan δD yang menyerupai kandungan isotop stabil air meteorik. Hal ini mempunyai arti bahwa air panas di daerah penelitian berasal dari air meteorik. Dari data hasil pengeplotan ini juga diketahui bahwa manifestasi air panas AP-1 memiliki kandungan δD yang tinggi (-3,3 ‰), sehingga diduga ketika dalam perjalanannya ke permukaan air panas AP-1 ini mengalami pencampuran dengan air laut.

2.5 Hg dan Permeabilitas

Dilakukan analisis kimia pada tanah / *soil*, dimana sampel *soil* ini dapat digunakan untuk mengidentifikasi daerah yang bersifat permeabel dari suatu lapangan panas bumi yang merupakan indikator kemungkinan zona *upflow*. Pengambilan sampel tanah / *soil* di daerah Songa - Wayaua direncanakan 145 titik namun sampel yang dapat diambil hanya sebanyak 137 buah.

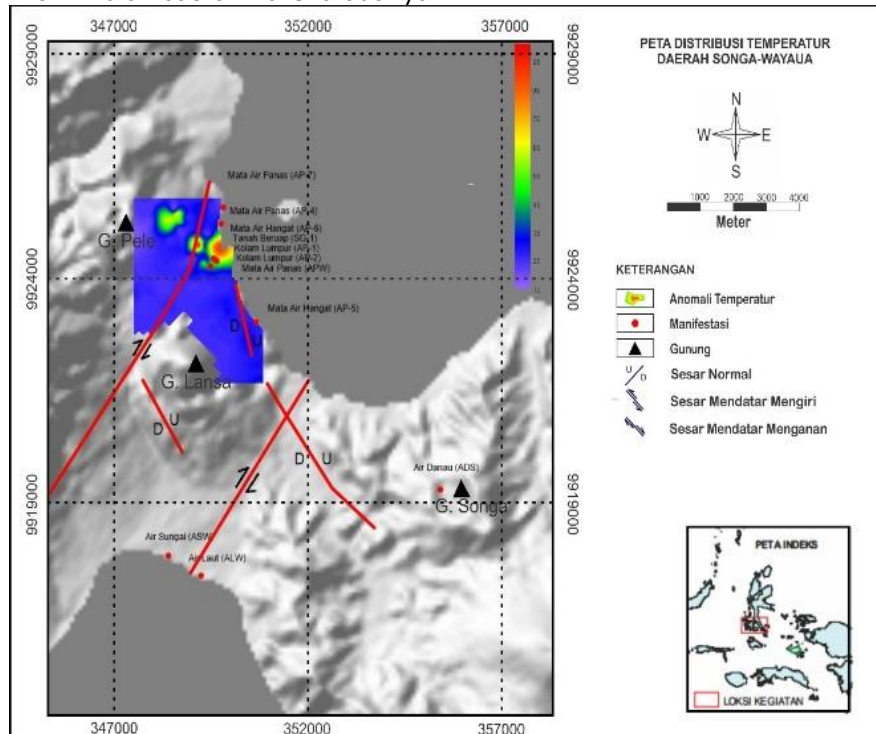
Contoh Hg dalam tanah di daerah Songa - Wayaua dikonsentrasikan di daerah sekitar Gunung Pele dan Gunung Lansa. Total titik yang direncanakan sebanyak 147 titik. Kenyataan di lapangan tidak semua titik tersebut mengandung, atau memiliki horizon tanah yang tebal, oleh karena itu jumlah sampel yang diperoleh hanya sebanyak 137 buah. Dari 137 sampel tanah tersebut yang dapat dianalisis kandungan Hg dan pH laboratorium hanya 131 sampel.



Gambar 13. Peta distribusi pH (modifikasi Sumintadireja dkk, 2012)

Dari hasil pengukuran di lapangan, temperatur di daerah penelitian berkisar antara 23 - 90°C. Dengan kisaran pH terukur 4.48 - 7.9. Tanah dengan pH rendah dan suhu yang tinggi menjadi anomali daerah penelitian. Hal ini diakibatkan karena adanya

aktivitas panas bumi di permukaan dalam bentuk tanah panas maupun tanah hangat, terutama di daerah sekitar Gunung Pele dan Gunung Lansa.



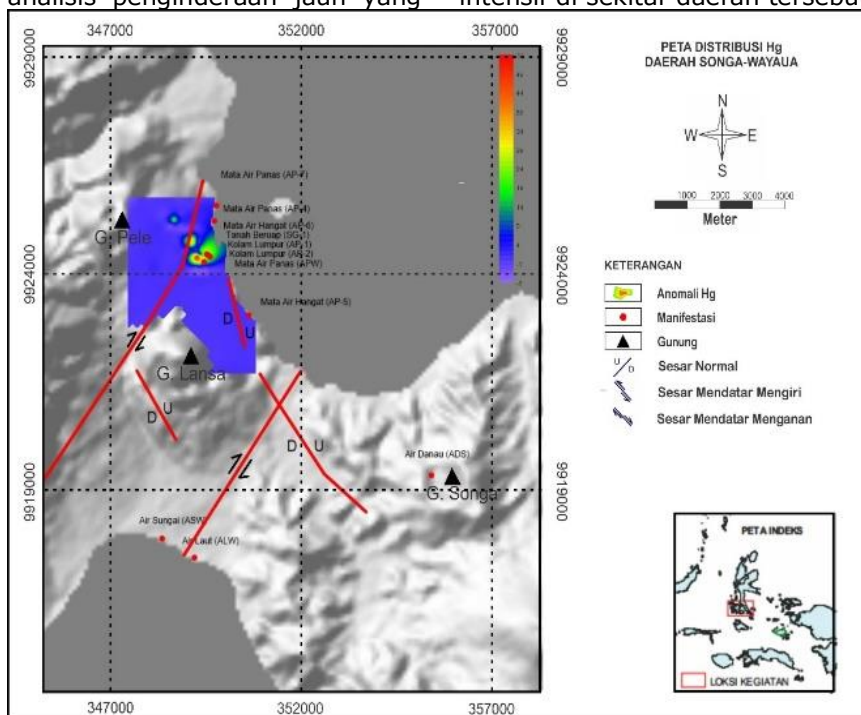
Gambar 14. Peta distribusi Temperatur (modifikasi Sumintadireja dkk, 2012)

Hasil analisis laboratorium untuk unsur Hg (merkuri), menunjukkan kisaran antara < 0.01 hingga 54 ppm. Daerah dengan

konsentrasi Hg terbanyak berada di sekitar Pele - Pele dan Bakor - Bakor. Sehingga diperkirakan daerah ini merupakan daerah

dengan permeabilitas yang tinggi, didukung pula oleh analisis penginderaan jauh yang

menunjukkan kelurusan - kelurusan yang intensif di sekitar daerah tersebut.



Gambar 15. Peta distribusi Hg (modifikasi Sumintadireja dkk, 2012)

Berdasarkan analisis peta distribusi pH, temperatur dan Hg, didapatkan bahwa adanya daerah di sekitar Gunung Pele dan Gunung Lansa yang merupakan daerah dengan permeabilitas baik, hal ini dibuktikan dengan adanya anomali tinggi konsentrasi Hg tinggi diantara Gunung Pele dan Gunung Lansa dan dari analisis LFD sebelumnya, serta analisis kelurusan dengan penginderaan jauh. Pada daerah ini juga terdapat anomali suhu tinggi yang diperkirakan berasal dari manifestasi - manifestasi disekitar Gunung Pele dan Gunung Lansa. Manifestasi - manifestasi di daerah ini memiliki derajat keasaman (Ph) berkisar 4.48 - 7.9 atau dapat dikatakan memiliki Ph relatif asam. Berdasarkan anomali suhu tinggi, derajat keasaman yang relatif asam serta daerah yang memiliki permeabilitas baik pada daerah sekitar manifestasi ini dapat mengindikasikan bahwa daerah ini merupakan zona *upflow* dari sistem panas bumi Songa - Wayaua.

2.6 Geotermometer dan Temperatur Reservoir

Air panas yang paling baik digunakan untuk perhitungan geotermometer adalah tipe air klorida (Cl), karena air klorida memiliki pH sekitar netral yang paling baik untuk menunjukkan kondisi reservoir. Dari keempat manifestasi air panas yang dianalisis, manifestasi air panas di Songa - Wayaua bertipe klorida.

Tabel 7. Hasil perhitungan geotermometer unsur terlarut

Geotermometer	Pele-Pele	Pado-Pado
Kuarsa Adiabatik (<i>max steam loss</i>)	145,164	146,095
Kuarsa Konduktif	152,206	153,158
Na-K (Fournier)	238,254	227,788
Na-K (Giggenbach)	244,903	242,354

Pada lapangan panas bumi Songa - Wayaua digunakan geotermometer Na - K (*Giggenbach*) yang menunjukkan suhu reservoir berkisar 240 - 245° C, hal ini dikarenakan suhu tersebut mendekati perkiraan suhu reservoir yang memiliki suhu sekitar 260° C dimana suhu tersebut didapatkan karena adanya endapan sinter silika disekitar manifestasi yang menunjukkan temperatur di bawah permukaan sekitar 260° C berdasarkan solubilitas silika (Nicholson, 1993), sehingga diperkirakan temperatur reservoir pada daerah panas bumi Songa - Wayaua $\pm$ 240 - 250° C.

3. Hasil Kajian Geologi dan Geokimia

3.1 Sumber panas

Berdasarkan hasil kajian geologi diperkirakan sumber erupsi tubuh vulkanik Lansa dan

vulkanik Pele merupakan sumber panas bagi sistem panas bumi di daerah penelitian, diperkirakan sumber panas dari sistem panas bumi Songa - Wayau berada di antara Gunung Lansa ataupun Gunung Pele.

3.2 Daerah resapan

Berdasarkan hasil analisis citra ALOS PALSAR untuk kelurusan permukaan didapatkan bahwa sebelah barat laut - barat (sekitar daerah Sibela) daerah penelitian merupakan daerah yang memiliki permeabilitas yang baik, ditunjukkan dengan nilai LFD yang tinggi di daerah tersebut.

3.3 Daerah *upflow* dan *outflow*

Berdasarkan hasil analisis geokimia (Hg, pH, dan temperatur) didapatkan bahwa manifestasi - manifestasi yang berada disekitar Gunung Pele dan Gunung Lansa merupakan daerah *upflow* dari sistem panas bumi daerah penelitian. Hal ini ditunjukkan dengan adanya anomali temperatur tinggi dan Hg disekitar manifestasi yang berada di antara Gunung Pele dan Gunung Lansa, serta distribusi pH sekitar daerah tersebut memiliki derajat keasaman (pH) berkisar 4.48 - 7.9 atau dapat dikatakan memiliki pH relatif asam. Berdasarkan analisis tersebut diperkirakan daerah antara Gunung Pele dan Gunung Lansa merupakan zona *upflow* dari sistem panas bumi Songa - Wayau. Untuk daerah *outflow* diprediksi berada di sebelah selatan Wayau yang ditunjukkan dengan keluaran manifestasi air dingin dengan jenis air bikarbonat dan memiliki pH netral, serta keadaan topografi yang relatif lebih rendah dibandingkan daerah lain. Jalur fluida dari zona luhan ini diperkirakan merupakan Sesar Wayau yang berada di tengah - selatan daerah penelitian.

3.4 Struktur

Dari hasil kajian geologi dan penginderaan jauh, didapatkan 10 struktur geologi yang berada di daerah penelitian. Tetapi hanya 5 struktur geologi yang diperkirakan mengontrol sistem panas bumi daerah penelitian, yaitu:

- Sesar Mendatar Menganan Pele diperkirakan merupakan jalur keluarnya fluida ke permukaan berupa manifestasi di pesisir utara Gunung Pele dan menyebabkan daerah penelitian terekahkan, sehingga memiliki porositas dan permeabilitas yang baik.
- Sesar Normal Songa 1 dan Sesar Normal Songa 2 diperkirakan merupakan jalur keluarnya manifestasi air hangat di pesisir utara Gunung Lansa dan menyebabkan daerah penelitian terekahkan, sehingga memiliki porositas dan permeabilitas yang baik.

- Sesar Mendatar Menganan Wayau diperkirakan merupakan jalur keluarnya manifestasi air dingin di selatan Wayau (daerah luhan) dan menyebabkan daerah penelitian terekahkan, sehingga memiliki porositas dan permeabilitas yang baik.
- Sesar Normal Lansa diperkirakan merupakan sesar yang menyebabkan daerah penelitian terekahkan, sehingga memiliki porositas dan permeabilitas yang baik.

3.5 Temperatur reservoir

Pada lapangan panas bumi Songa - Wayau digunakan geotermometer Na - K (*Giggenbach*) yang menunjukkan suhu reservoir berkisar 240 - 245° C, hal ini dikarenakan suhu tersebut mendekati perkiraan suhu reservoir yang memiliki suhu sekitar 260° C dimana suhu tersebut didapatkan karena adanya endapan sinter silika disekitar manifestasi yang menunjukkan temperatur di bawah permukaan sekitar 260° C berdasarkan solubilitas silika (Nicholson, 1993), sehingga diperkirakan temperatur reservoir pada daerah panas bumi Songa - Wayau $\pm$ 240 - 250° C.

KESIMPULAN

Setelah dilakukan kajian dan analisis didapatkan beberapa kesimpulan, antara lain:

- Daerah penelitian Songa - Wayau merupakan lapangan panas bumi dengan sistem vulkanik hidrotermal dan sistem panas bumi *high terrain* yang dikontrol oleh sesar lokal daerah penelitian.
- Sumber panas pada daerah panas bumi Songa - Wayau diperkirakan berhubungan dengan pusat erupsi Gunung Pele dan Gunung Lansa, dimana sumber panas terletak di bawah Gunung Pele dan Gunung Lansa.
- Pada daerah penelitian didapatkan 10 struktur utama dimana 5 struktur utama yang mengontrol daerah penelitian, yaitu:
 1. Sesar Mendatar Menganan Pele
 2. Sesar Normal Songa 1
 3. Sesar Normal Songa 2
 4. Sesar Normal Lansa
 5. Sesar Mendatar Menganan Wayau
- Berdasarkan hasil analisis geokimia (Hg, pH, dan temperatur) didapatkan bahwa manifestasi - manifestasi yang berada disekitar Gunung Pele dan Gunung Lansa merupakan daerah *upflow* dari sistem panas bumi daerah penelitian.
- Untuk daerah *outflow* diprediksi berada di sebelah selatan Wayau yang ditunjukkan dengan keluaran manifestasi air dingin dengan jenis air bikarbonat dan memiliki pH netral, serta keadaan topografi yang

relatif lebih rendah dibandingkan daerah lain. Jalur fluida dari zona luahan ini diperkirakan merupakan Sesar Wayau yang berada di tengah - selatan daerah penelitian.

- Pada lapangan panas bumi Songa - Wayau berdasarkan geotermometer Na - K (*Giggenbach*) yang menunjukkan suhu reservoir berkisar 240 - 245° C.

SARAN DAN PENGEMBANGAN

Perlu dilakukannya penelitian lanjut dengan menggunakan metode - metode di geofisika untuk mendapatkan model tentatif lapangan panas bumi Songa - Wayau yang nantinya dapat dilakukan penentuan geometri/luas dari lapisan prospek reservoir, sehingga dapat mengetahui besaran prospek cadangannya dan untuk mengetahui daerah target prospek pemboran.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada LPPM UPN Veteran Yogyakarta dalam membantu pendanaan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Apandi T. dan Sudana D. (1980). *Geologi Lembar Ternate, Maluku Utara Skala 1:250.000*, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.
- Bakrun, Situmorang, T., Bangbang, S., Sundhoro, H., Idris, A., Liliek, H. (2006). *Penyelidikan Terpadu Daerah Panas Bumi Songa - Wayau, Kabupaten Halmahera Selatan, Maluku Utara*. Prosiding, Pemaparan Hasil Kegiatan Lapangan dan Non Lapangan. Pusat Sumber Daya Geologi, Indonesia 2006.
- Blundell, D. J., Neubauer, F., Quad, A. (2002). *The Timing and Location of Major Ore Deposits in an Evolving Orogen*. First Edition, The Geological Society, London.
- Campbell, J. B. (1996). *Introduction to Remote Sensing*. Second Edition, Guilford Press.
- Curran, P. J. (1985). *Principles of Remote Sensing*. Volume 6, London: Longman, 1985, Pp. 260.
- Hall, R. (2000). *Neogene History of Collision in The Halmahera Region Indonesia*. Proceedings, 27th Annual Convention & Exhibition Indonesia Petroleum Association, Indonesia, October 2000.
- Hall, R., Wilson, M.E.J. (2000). *Neogene Sutures in Eastern Indonesia*. Journal of Asian Earth Sciences, 18, 781-808. 2000.
- Hamilton, W. (1979). *Tectonics of The Indonesian Region*. Proceedings, USGS Professional Paper, 1078. U.S. Govt. Print. Off, 1979.
- Hartono. (2010). *Penginderaan Jauh dan Sistem Informasi Geografi Serta Aplikasinya di Bidang Pendidikan dan Pembangunan*. Seminar Nasional-PJ dan SIG I Tahun 2010.
- Nicholson, K. (1993). *Geothermal Fluids*. First Edition, Springer - Verlag.
- Sillitoe, R. H., Hedenquist, J. W. (2003). *Linkages between Volcanotectonic Settings, Ore-Fluid Compositions, and Epithermal Precious Metal Deposits*. Special Publication, Society of Economic Geologists, Galley proofs. p. 315-343.
- Sumintadireja, P., dkk. (2012). *Peningkatan Kualitas/Kuantitas dan Validasi Data Dalam Rangka Penentuan Lokasi Sumur Eksplorasi di Lapangan Songa Wayau Maluku Utara*. Tidak Dipublikasikan.
- Poernomo, A., Satar, S., Effendi, P., Kusuma, A., Azimudin, T., Sudarwo. (2015). *An Overview of Indonesia Geothermal Development - Current Status and Its Challenges*. Proceedings, World Geothermal Congress 2015. Melbourne, Australia, 19 - 25 April 2015.
- Rohmana., Suhandi., Susanto, H., R. Hutamadi. (2011). *Penelitian Optimalisasi Pemanfaatan Bahan Galian Daerah Halmahera Selatan, Provinsi Maluku Utara*. Prosiding, Hasil Kegiatan Pusat Sumber Daya Geologi, Indonesia 2011.
- Saepuloh A., Urai M., Suryantini, Sumintadireja P., Meilano I, Harsolumakso A.H., Suparka E. (2014). *Extracting linear features density of SAR data to detect the paths of a geothermal system*. Indonesia Geology Magazine, 29 (2), pp. 6369, August 2014.
- Saepuloh A., Urai M., Sumintadireja P., Suryantini. (2010). *Spatial Priority Assessment of Geothermal Potentials Using Multi - Sensor Remote Sensing Data and Applications*. Proceeding of the 1st ITB Geothermal Workshop 2012, Bandung, Indonesia, March, 2012.
- Supriatna, S. (1980). *Geologi Lembar Morotai, Maluku Utara Skala 1:250.000*, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.
- Wohletz, K., Heiken, G. (1992). *Volcanology and Geothermal Energy*. First Edition, University of California Press, Barkeley, United States of America.

