

ANALISIS HIDROGEOKIMIA DAN ISOTOPE STABIL MATA AIR PANAS KEBAR KABUPATEN MANOKWARI PROVINSI PAPUA BARAT

Andrew Federico Karubaba^{1*)}, Irwan Iskandar²⁾, Syafrizal²⁾

^{1*)} Magister Rekayasa Pertambangan, Fakultas Teknik Pertambangan dan Perminyakan, Institut Teknologi Bandung

²⁾ Fakultas Teknik Pertambangan dan Perminyakan Institut Teknologi Bandung
Jalan Ganesha 10 Bandung 40132

^(*)Penulis korespondensi: andrewfedericokarubaba@gmail.com

Received: Agustus 2023; Accepted: Oktober 2023; Published: November 2023

Abstract

In simple terms, geothermal classification is determined according to reservoir equilibrium, fluid type, and temperature. Based on the reservoir temperature, geothermal systems are separated into two different systems: dynamic system (convection) and static system (conduction). This system structure is also affected by topography which is further specified as a high-temperature fluid reservoir. The relationship between the characteristics of the hot springs and geothermal potential is instructive to be analyzed. The objective of the analysis is to determine critical parameters: The chemical composition of the water and the source of origin of the water. Hydrogeochemical studies including analysis of major element analysis; ratio stable isotopes $\delta^{18}\text{O}$ and $\delta^2\text{H}$ of samples from springs, rivers, and wells used to determine the character of hot springs. The primary element examination shows that the sample ions composition from the hot springs is dominated by three types of rock sources: shale; sandstone; and quartzite rocks. It also reveals that sample hot springs can be considered thermal water (based on the Piper Diagram), and classified as water and rock interactions dominant based on the Gibbs diagram.

Keywords: Geothermal system, Major element analysis, Stabel isotope, Gibbs diagram

Abstrak

Secara sederhana, klasifikasi panas bumi dibagi berdasarkan kesetimbangan reservoir, jenis fluida dan temperatur. Berdasarkan temperatur reservoirnya sistem panas bumi dibagi menjadi dua, yaitu: sistem dinamis (konveksi) dan sistem statik (konduksi). Topografi juga memiliki pengaruh terhadap struktur sistem, yang selanjutnya dispesifikasikan menjadi reservoir fluida temperatur tinggi. Hubungan antara karakteristik sumber mata air panas dan potensi geothermal ini menjadi hal yang menarik untuk diteliti. Tujuan penelitian ini dilakukan adalah untuk mengetahui beberapa hal penting: Komposisi secara kimia air dan Sumber asal air. Studi hidrogeokimia menggunakan metode analisis unsur utama; rasio isotop stabil $\delta^{18}\text{O}$ dan $\delta^2\text{H}$ dalam air pada mata air dan sungai dilakukan untuk mengetahui karakter mata air panas. Analisis unsur utama menunjukkan bahwa mata air panas pada daerah penelitian didominasi oleh tiga tipe sumber batuan yaitu batuan serpih, batupasir dan quarsit, analisis unsur utama juga menunjukkan bahwa mata air panas pada daerah penelitian merupakan air thermal dan verifikasi menggunakan Diagram *Gibbs* menunjukan bahwa sampel air panas tergolong dominasi interaksi air dan batuan.

Kata kunci: Sistem panas bumi, Analisis unsur utama, Rasio isotop stabil, Diagram *Gibbs*.

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan salah satu negara yang dilalui oleh *ring of fire*, hal ini menyebabkan sebagian besar wilayah Indonesia tersusun atas deretan gunungapi. Kehadiran gunungapi tersebut berpotensi untuk menghasilkan energi panas bumi, namun energi tersebut juga dapat ditemukan di luar lingkungan vulkanik. Secara garis besar, klasifikasi

panas bumi dibagi berdasarkan kesetimbangan reservoir, jenis fluida dan temperatur. Berdasarkan temperatur reservoirnya sistem panas bumi dibagi menjadi dua, yaitu: sistem dinamis (konveksi) dan sistem statik (konduksi). Topografi juga dapat mempengaruhi struktur sistem, yang kemudian dipersempit dalam reservoir berbasis fluida temperatur tinggi. Analisis Hidrogeokimia dapat

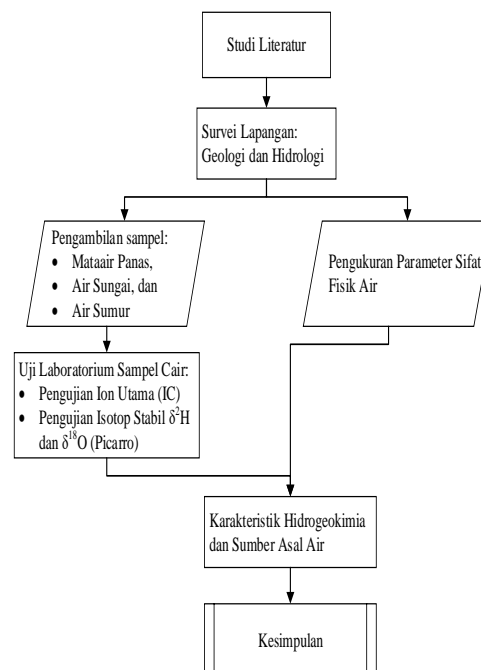
digunakan untuk mengetahui kejadian atau proses-proses yang terjadi pada air tanah, formasi atau tipe batuan yang mempengaruhi kualitas air tanah, umur air tanah dalam akuifer, proses mineralisasi, dan kontaminan alami yang masuk ke dalam sistem air tanah (David Gray, 2012). Analisis unsur utama dan isotop stabil $\delta^2\text{H}$ dan $\delta^{18}\text{O}$ merupakan contoh analisis hidrogeokimia yang umum digunakan. Kromatografi pertukaran ion (atau Ion Chromatography, IC) adalah bagian dari kromatografi cair, yang memungkinkan pemisahan ion dan molekul polar berdasarkan muatannya. Mirip dengan kromatografi cair, kromatografi ion menggunakan fase gerak cair, kolom pemisah, dan detektor untuk mengukur bahan yang berhasil melewati kolom. Kromatografi pertukaran ion dapat digunakan untuk menentukan sampel terlarut ionik seperti anion anorganik, kation, logam transisi, serta asam dan basa organik dengan berat molekul rendah. Ini juga dapat digunakan untuk hampir semua jenis molekul bermuatan, termasuk protein besar, nukleotida kecil dan asam amino. Teknologi IC biasanya digunakan untuk mengidentifikasi dan mengukur ion dalam berbagai matriks. Proses dasar menggunakan kromatografi pertukaran ion dapat dibagi menjadi 5 langkah (dengan asumsi bahwa sampel mengandung dua analit, A dan B): pemuatan eluen, injeksi sampel, pemisahan sampel, elusi sampel A dan sampel B Elute. Elusi adalah proses mentransfer senyawa bunga melalui kolom kromatografi. Hal ini terjadi karena eluen (larutan yang digunakan sebagai pelarut dalam kromatografi) dipompa secara konstan melalui kolom. (Moustafa & Morsi, 2013). Analisis isotop stabil sering digunakan untuk menentukan beberapa parameter siklus hidrologi yang sulit dilakukan bila menggunakan metode konvensional, contohnya untuk mengidentifikasi sumber asal air tanah dan daerah resapan, terkait dengan potensi akuifer (Kharisma, dkk., 2015).

Beberapa penelitian terdahulu terkait panas bumi daerah Manokwari, Provinsi Papua Barat telah menyatakan bahwa mata air panas Ajoji dan mata air panas Necopon merupakan salah satu contoh bentuk manifestasi energi panas bumi yang bukan berasal dari adanya gunungapi. Keduanya dikontrol oleh Sesar Aremi dan Sesar Kebar (Sesar normal) yang berarah Baratdaya-Timurlaut. Sumber panas dari manifestasi panas bumi pada wilayah penelitian ini diperkirakan berupa tubuh batolit granit berumur Trias sepanjang struktur geologi utama. Kondisi ini juga yang menyebabkan pembentukan sinter karbonat yang tersebar cukup luas (Kusnadi, dkk., 2009). *Scope* penyelidikan tersebut cukup luas, sehingga perlu dilakukan penyelidikan lebih lanjut.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kondisi hidrologi dan hidrogeokimia manifestasi panas bumi, khususnya mata air panas.

METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini yaitu: metode empiris dan analitik. Metode empiris digunakan saat akuisisi data di lapangan, sedangkan metode analitik digunakan untuk menganalisis data yang didapatkan. Sumber data yang digunakan adalah data primer dan data sekunder. Data primer diperoleh langsung di lapangan dan data sekunder yang menjadi dasar kajian literatur. Fokus penelitian ini adalah data atau sampel primer berupa mata air panas; presipitat; dan sungai; serta air dari sumur warga. Sampel-sampel tersebut berjumlah 14 yang didapatkan melalui survei hidrogeologi. Mata air panas yang ditemukan pada daerah penelitian berjumlah 5 sampel, sampel air sungai berjumlah 5 sampel, dan sampel air sumur dari sumur warga berjumlah 3 sampel, serta sampel presipitat berjumlah 1 sampel. Sampel-sampel ini dikumpulkan untuk melihat unsur-unsur terlarut yang terbawa dari sumber asal air. Alur penelitian ditunjukkan dalam *Gambar. 1*.



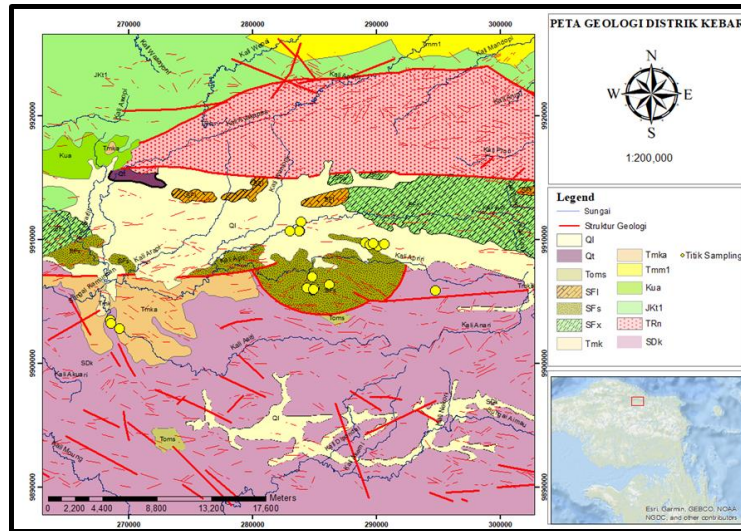
Gambar. 1. Alur penelitian

Tujuan analisis ini dilakukan adalah untuk mengetahui beberapa hal penting seperti komposisi kimia air dan sumber asal air. Metode analisis yang digunakan untuk menjawab hal tersebut adalah: (a) *STabel Isotope Analyzer*, digunakan untuk melihat kandungan $\delta^{12}\text{H}$, $\delta^{18}\text{O}$, sehingga dapat diketahui sumber asal sampel mendeteksi unsur-unsur jejak pada sampel; (b) *Ion Chromatography*, digunakan mendeteksi unsur utama (ion dan kation) yang terkandung dalam sampel.

HASIL DAN PEMBAHASAN
HASIL

Dalam konteks regional, Distrik Kebar tercakup dalam Lembar Mar (P. E. Pieters, 1989), Gambar. 2. Berdasarkan perspektif geologi, wilayah penelitian dapat dibagi menjadi empat unit besar

batuan. Di bagian selatan, terdapat Blok Kemum yang terbentuk pada zaman Devon, sementara di bagian utara terdapat Blok Tamrau yang berumur Jura. Antara keduanya terdapat Sistem Sesar Sorong yang terbentuk pada masa Miosen dan Fragmen Netoni yang berumur Trias.



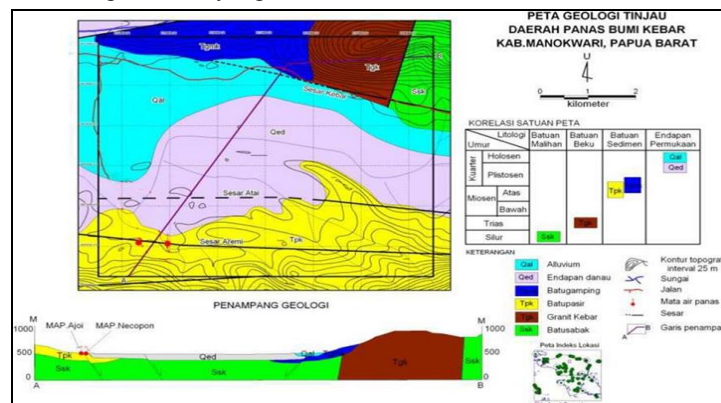
Gambar. 2. Peta Geologi Kebar (Pieters, 1989 modifikasi oleh Karubaba, 2020)

Blok Kemum adalah formasi tinggi batuan dasar yang terdiri terutama dari batuan metamorf. Blok ini juga merupakan unit batuan tertua yang membentuk sebagian besar wilayah Kepala Burung di pulau Papua. Di beberapa lokasi di Blok ini, terdapat intrusi batuan granitoid tipe I dan S (Webb, dkk., 2019). Wilayah utara Formasi ini terbatas oleh fitur geologi utama, yaitu Sesar Sorong. Di sisi timur, dibatasi oleh Sesar Ransiki, sementara di bagian selatan dibatasi oleh beragam batuan sedimen klastik (Pieters, 1989). Blok Tamrau terbentuk pada periode Jura-Kapur dan terdiri dari sedimen yang telah mengalami metamorfosis. Di atasnya terdapat lapisan batupasir Amiri. Selain itu, terdapat penambahan dan interkalsasi granitoid yang tidak

sejajar dengan satuan batuan Gunungapi Moon. (Webb, dkk., 2019).

Sistem Sesar Sorong adalah wilayah dengan kerusakan struktural akibat dari utama struktur geologi yang kemudian terisi oleh beberapa jenis satuan batuan (Pieters, 1989):

- Bancuh tak terpisahkan didalam Sistem Sesar Sorong (SFx)
- Batugamping di dalam Sistem Sesar Sorong (SF1)
- Batupasir di dalam Sistem Sesar Sorong (SFs)
- Kalsilitit di dalam Sistem Sesar Sorong (SFc)
- Batuan gunungapi di dalam Sistem Sesar Sorong (SFv)



Gambar. 3. Peta Geologi Lokal Distrik Kebar Tengah (Kusnadi, dkk., 2009)

Kompleks intrusi Netoni mewakili serangkaian granit, granodiorit, dan pegmatit yang

mengalami deformasi dan sebagian direkristalisasi. Granitoid ini menembus sekis dan gneis yang

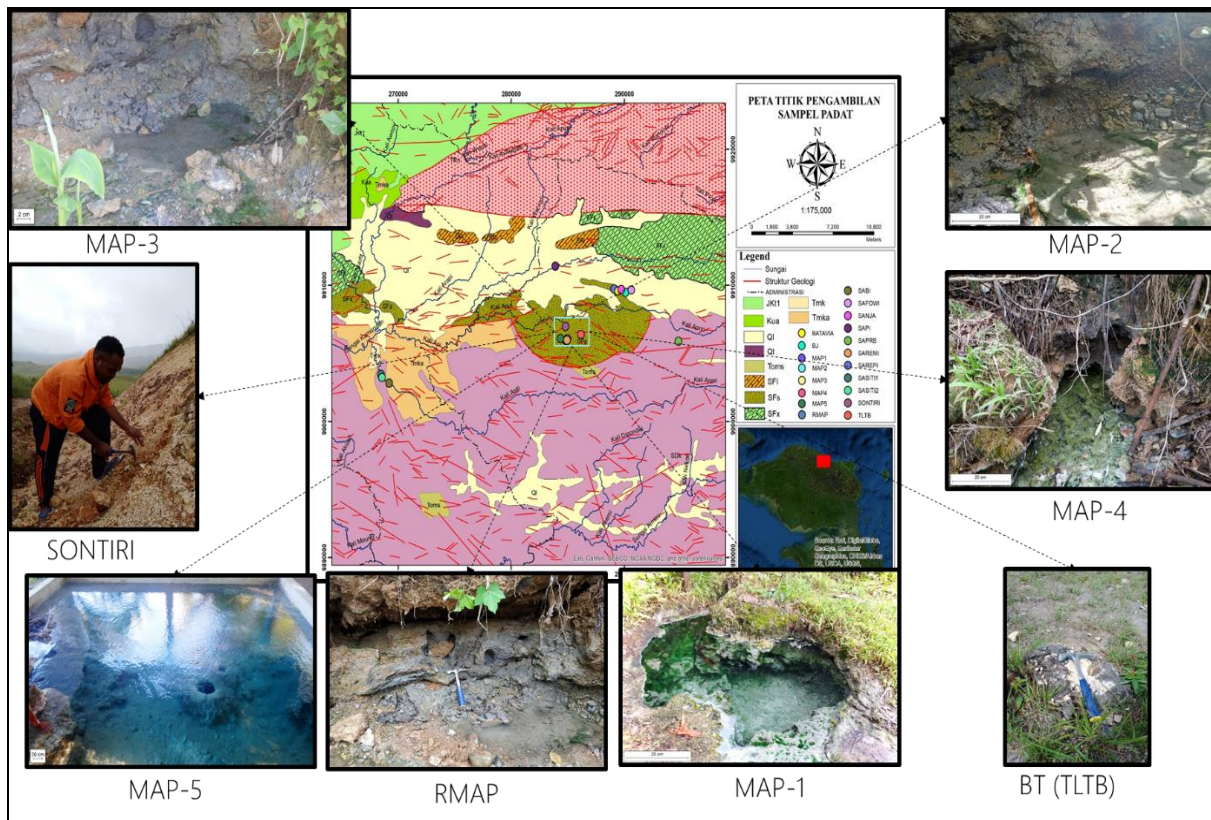
sebelumnya bermetamorfosis, dengan intrusi magma yang terjadi melalui jaringan *dyke* dan *sill*. Hal ini menyebabkan metamorfosis akibat terjadi kontak dengan batuan sampling, dan batuan penutup granitoid Netoni. Data geokimia menunjukkan bahwa granitoid ini memiliki komposisi peraluminous, *calc-alkalic* hingga alkali-*calcic* dan ferroan hingga magnesian. Geokimia unsur jejak granit ini menunjukkan apa yang biasanya dianggap sebagai tanda zona subduksi bersama dengan bukti asimilasi dan kristalisasi fraksional dengan batuan sampling di sekitarnya (Webb, dkk., 2019). Gambaran geologi lokal Distrik Kebar dapat dilihat dalam Gambar. 3.

Parameter Fisika dan Kimia

Kualitas hidrogeokimia dipengaruhi oleh durasi waktu tinggalnya air dalam akuifer (Chebotarev dalam (Rao, 2018)). Tinggi dan rendahnya nilai pH dipengaruhi oleh: kondisi dan kandungan gas karbon dioksida; konsentrasi karbon dan bikarbonat; dan proses dekomposisi bahan organik. Pengukuran langsung di lapangan terhadap parameter sifat fisika dan kimia sangat penting dilakukan untuk mengurangi kemungkinan perubahan sifat sampel yang akan diuji.

Parameter fisika yang diukur meliputi temperatur (°C), derajat keasaman (pH), dan total padatan terlarut (TDS, dalam satuan ppm). Temperatur rata-rata dari sampel cair yang telah dikumpulkan sebesar 31 °C, temperatur terendah sebesar 22,3 °C pada sampel S. Anja, dan temperatur tertinggi sebesar 43,1 °C pada sampel MAP 5. Tingkat keasaman (pH) rata-rata sebesar 5,57, tingkat keasaman terendah sebesar 4 pada sampel MAP 5 dan SMR 1, dan Tingkat keasaman tertinggi sebesar 7 pada sampel MAP 1; MAP 2; MAP 3; dan RMAP. Rata-rata total padatan terlarut (TDS) sebesar 770,94 ppm, nilai terendah dari total padatan terlarut sebesar 0,42 ppm, dan nilai tertinggi sebesar 1770 ppm. Data parameter fisika dapat dilihat pada

Parameter fisika yang dikumpulkan selanjutnya diasosiasikan dengan komposisi kimia sampel. TDS pada umumnya merupakan jumlah anion dan kation, serta unsur-unsur lain yang terlarut di dalamnya. Nilai TDS mengalami peningkatan apabila ion dan zat terlarut lainnya berada dalam konsentrasi dengan nilai tinggi. Hal sebaliknya juga berlaku, nilai konsentrasi ion dan zat terlarut yang rendah akan menghasilkan nilai TDS yang rendah.



Gambar. 4. Peta lokasi pengambilan sampel

Parameter kimia yang umum dianalisis dalam penelitian hidrogeokimia adalah anion dan kation utama, anion dan kation utama yaitu: Na⁺, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, HCO₃⁻, SO₄²⁻, Cl⁻. Parameter uji reaksi kimia dilakukan dengan menggunakan kromatografi ion (IC), analisis ion utama pada penelitian ini

menggunakan metode klasik (diagram piper). Diagram ini menggabungkan tiga bidang berbeda, dua buah bidang berbentuk segitiga di bagian kiri bawah dan kanan bawah untuk menunjukkan konsentrasi relatif anion dan kation; dan satu bidang berbentuk diamond untuk menunjukkan konsentrasi

semua karakter kimia air (Piper, 1944). Karakter sifat kimia air sepenuhnya dipengaruhi oleh litologi akuifer yang dilalui air dan dikontrol oleh pola aliran air tanah. Secara lebih detail (Back, 1966)

mengelompokan lagi fasies hidrokimia berdasarkan komposisi anion dan kation di dalam air. Data unsur utama dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 1. Data parameter fisika sampel

Sample ID	Temperatur udara (°C)	Temperatur air (°C)	pH	TDS (mg/l)
MAP1	28,00	40,40	7	1620,00
MAP2	28,00	38,90	7	1691,00
MAP3	28,00	36,20	7	1625,00
MAP4	27,90	42,00	6	1770,00
MAP5	25,60	43,10	4	1635,00
RMAP	28,00	35,80	7	1618,00
S. AREMI	28,00	25,00	4	0,42
S. AREFI	25,00	22,80	6	100,80
S. ANJA	28,50	22,30	6	92,40
S. AFOWI	29,80	24,20	5	60,00
S.API	28,50	25,80	5	128,30
SMR1	28,10	27,50	4	132,70
SMR2	29,30	27,80	5	130,00
SMR3	28,50	26,80	5	189,60

Tabel 2. Data unsur utama

ID Sampel	Unit	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Ion Balance
RMAP	meq/L	7,78	0,43	1,13	4,02	6,31	0,94	4,50	6%
MAP1	meq/L	8,53	0,45	2,23	4,16	6,58	1,00	4,51	12%
MAP2	meq/L	3,68	0,22	0,53	1,47	3,08	0,47	4,55	16%
MAP3	meq/L	7,87	0,44	2,19	4,11	6,38	0,98	4,86	9%
MAP4	meq/L	7,91	0,46	1,19	4,15	6,42	1,00	4,59	7%
MAP5	meq/L	8,30	0,46	1,15	4,29	7,22	1,07	4,77	4%
S. Aremi	meq/L	0,17	0,07	0,96	0,38	0,19	0,16	0,71	20%
S. Arepi	meq/L	0,15	0,14	1,01	0,22	0,10	0,12	1,11	7%
S. Api	meq/L	0,33	0,24	1,28	0,55	0,09	0,19	1,37	19%
SMR1	meq/L	0,20	0,02	0,63	0,31	0,11	0,13	1,11	8%
SMR2	meq/L	0,39	0,04	0,61	0,43	0,10	0,12	1,08	6%
SMR3	meq/L	0,30	0,06	0,62	0,35	0,15	0,11	1,04	1%
S. Anja	meq/L	0,33	0,05	0,09	0,19	0,09	0,11	1,79	50%
S. Afowi	meq/L	0,21	0,03	0,06	0,47	0,10	0,11	0,83	15%

Rasio Isotop δ18O dan δ2H

Aplikasi rasio isotop stabil δ¹⁸O dan δ²H dalam ilmu kebumihan secara umum dapat dibagi menjadi empat kategori: *Thermometry, Tracers, Reaction mechanism, Chemostratigraphy*. Perbandingan kedua isotop ini juga menunjukkan ketinggian pembentukan air selama penguapan. Rasio yang lebih negatif berarti semakin tinggi rasio berat jenis molekul air yang membawa isotop (Craig, 1961 di dalam (Musti'atin, 2018)). Rasio isotop oksigen hasil pengujian menunjukkan rentang nilai -8,16‰ sampai -9,39‰, kemudian untuk data

rasio isotop hidrogen hasil pengujian menunjukkan rentang nilai -51,57‰ sampai -59,13‰. Nilai rata-rata isotop oksigen berjumlah -8,83‰ nilai terendah terdapat pada sampel MAP1 dengan jumlah -8,16‰ dan nilai tertinggi terdapat pada titik SMR3 dengan jumlah -9,39‰. Nilai rata-rata isotop hidrogen (deuterium) berjumlah -56,50‰, rasio isotop hidrogen terendah terdapat pada titik MAP1 dengan jumlah -51,57‰, dan rasio tertinggi terdapat pada titik SMR3. Data rasio isotop dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Data analisis rasio isotop stabil $\delta^{13}\text{O}$ dan $\delta^{13}\text{H}$

<i>Sample ID</i>	<i>Easting</i>	<i>Northing</i>	<i>Elevasi</i>	δD	$\delta^{18}\text{O}$
MAP1	284878,52	9905912,48	588,58	-58,51	-9,10
MAP2	284887,72	9905992,34	582,95	-58,19	-9,04
MAP3	284927,14	9905965,60	579,60	-57,26	-8,84
MAP4	284961,27	9906063,71	578,19	-58,18	-8,97
MAP5	284363,11	9906075,79	587,61	-57,79	-8,93
RMAP	284921,80	9905972,01	575,92	-57,21	-8,84
S. AREMI	284926,70	9905972,89	575,77	-56,26	-8,77
S. AREPI	289091,68	9909742,91	574,32	-54,93	-8,66
S. ANJA	289726,58	9909694,22	599,14	-56,53	-8,83
S. AFOWI	290618,31	9909648,41	606,06	-55,03	-8,65
S.API	283905,83	9911417,60	602,88	-59,13	-9,39
SMR1	283830,15	9910673,59	581,23	-52,32	-8,28
SMR2	283730,51	9910691,02	582,47	-51,57	-8,16
SMR3	283022,89	9910711,15	586,22	-58,10	-9,11

Data analisis rasio isotop $\delta^{18}\text{O}$ dan $\delta^2\text{H}$ selanjutnya disandingkan dengan garis air *meteoric local* dalam diagram plot silang. Hal ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik pada setiap sampel. Plot silang tersebut kemudian diproyeksikan menggunakan *trendline* untuk masing-masing kelompok fasies.

PEMBAHASAN

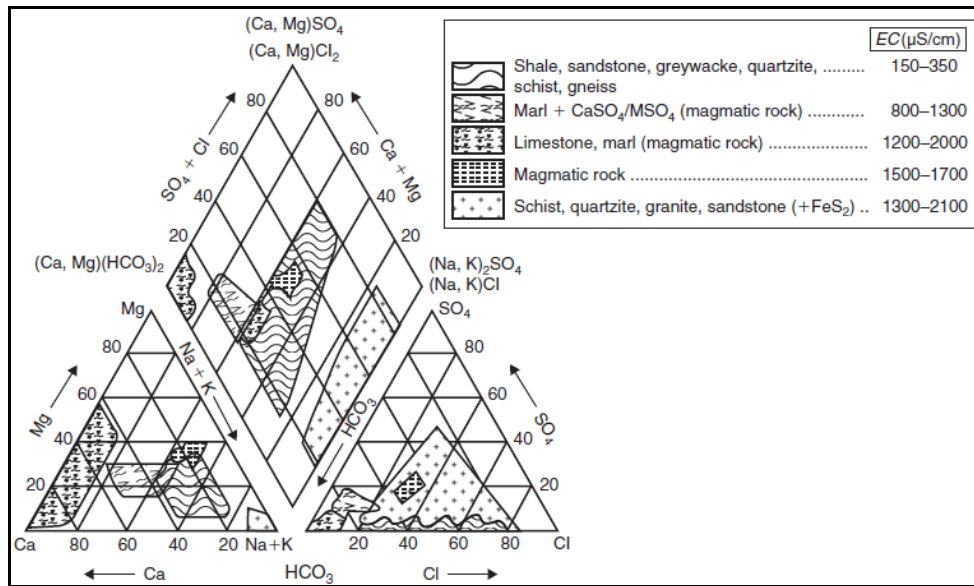
Back (1960; dalam (Back, 1966)) membagi fasies hidrogeokimia berdasarkan persentase komposisi anion dan kation di dalam air. Berdasarkan klasifikasi tersebut diketahui bahwa sampel penelitian tersusun atas empat tipe, yaitu: (1) Kalsium-Sodium; (2) Sodium-Kalsium; (3) Bikarbonat-Klorida-Sulfat; (4) Klorida-Sulfat-Bikarbonat. Zuurderg dan Van der Weiden (1985, dalam Postma, 2005) mencoba membuat korelasi antara komposisi ion utama dan batuan asalnya (ditunjukkan pada Gambar 1).

Verifikasi *diagram piper* memperlihatkan bahwa sampel pada daerah penelitian secara umum didominasi oleh dua tipe sumber batuan, yaitu: (a) batugamping dan napal (sampel air dingin) dan (b) serpih, batu pasir dan kuarsit (sampel air panas) (ditunjukkan pada Gambar 2). Rodgers (1954 dalam (Musti'atin, 2018) menjelaskan bahwa, umumnya batu gamping dan napal ditemukan pada daerah dengan lingkugan pengendapan neritic dangkal. Secara geologi, daerah penelitian masuk dalam sistem sesar Sorong yang merupakan zona hancuran. Hal tersebut ditunjukkan oleh dominasi batuan sedimen pada lokasi penelitian, misalnya: batugamping, batu pasir, batulanau, dan batu lempung. Jenis batuan metasedimen (*Shale, sandstone, quarsite, greywacke*) menunjukan adanya pengaruh aktifitas termal dalam pembentukannya. Klasifikasi yang lebih sederhana dijelaskan dalam

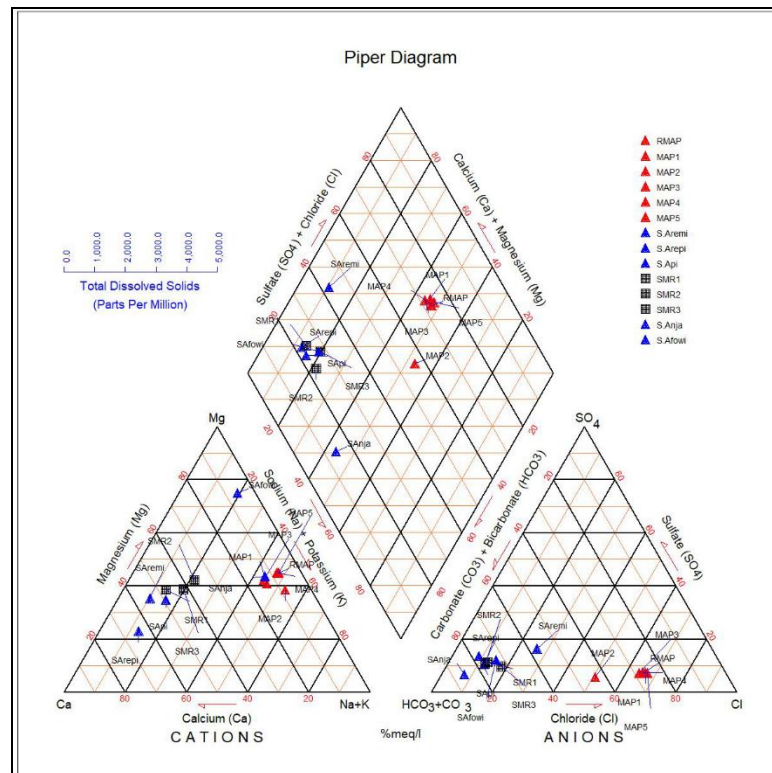
Septianto (2016). Berdasarkan hal tersebut diketahui bahwa sampel daerah penelitian tersusun atas tiga tipe, yaitu: (1) Tipikal airtanah gipsium dan buangan tambang ($\text{Ca}\cdot\text{SO}_4$), (2) Tipikal air laut dan air purba ($\text{Na}\cdot\text{Cl}$), dan (3) Tipikal airtanah dangkal dan air meteorik ($\text{Ca}\cdot\text{HCO}_3$).

Panas yang terjadi diindikasikan bersumber dari produk peleburan lempeng samudera yang menunjам dan menghasilkan fluida magmatik. Perbedaan visikositas dan adanya struktur geologi utama sebagai media transport menyebabkan fluida bergerak naik mendekati permukaan. Fluida tersebut belum bisa didefinisikan namun, diasumsikan berupa gas panas yang kemudian memanaskan batuan yang dilewati oleh gas tersebut. Asumsi ini didasari oleh informasi yang ditunjukkan pada diagram ternari (Gambar 3) Hasil plot silang unsur Cl^- , HCO_3^- , dan SO_4 menunjukkan bahwa semua sampel cair tergolong dalam dua tipe, yaitu: (1) sampel airpanas dan Sungai Aremi bertipe air dilute $\text{CL}\cdot\text{HCO}_3$; (2) sampel air dingin kecuali Sungai aremi, bertipe *steam heated waters/ steam condensed*.

Klasifikasi lainnya menunjukkan bahwa semua sampel tergolong tipe *pheriperal waters* (Gambar 4). Marini (2016) menjelaskan bahwa *pheriperal bicarbonate waters* terbentuk pada kedalaman yang relatif dangkal. Meilani (2016) menjelaskan tipe ini mengindikasikan proses kondensasi air termal dengan *mixing* yang terjadi antara CO_2 antara fluida panas (indikasi gas) dan airtanah sehingga hasil plot silang pada diagram ternari menunjukkan kecenderungan sampel penelitian tergolong tipe *pheriperal waters*. Giggenbach (1988, dalam (Marini, 2016)) menjelaskan bahwa sampel yang tergolong *pheriperla waters* terindikasi tergolong *mature-bicarbonate waters*.



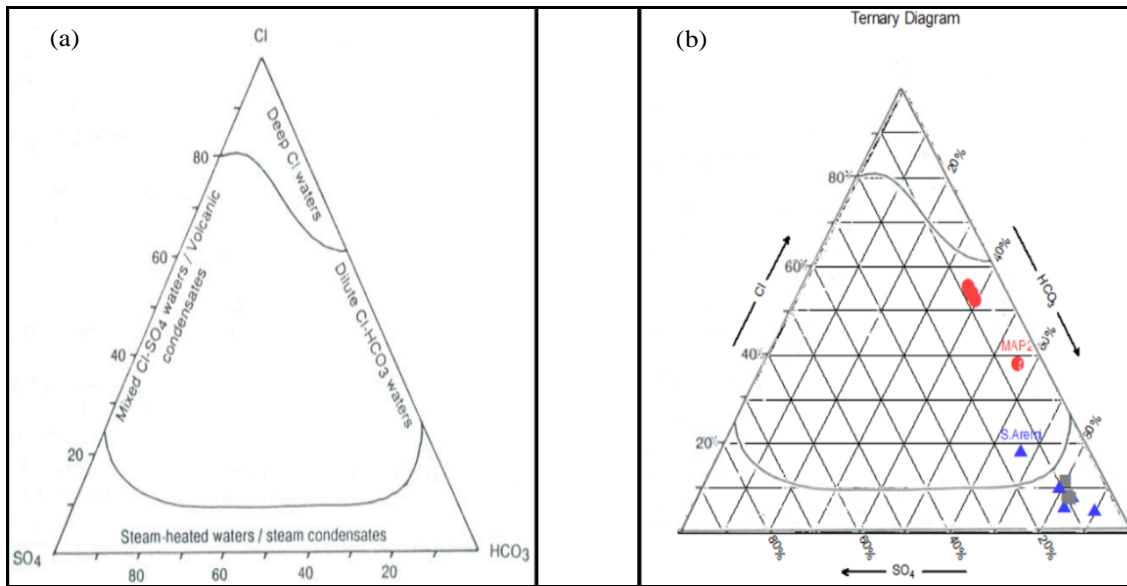
Gambar. 5. Klasifikasi tipe air dan hubungannya dengan batuan (Postma, 2005).



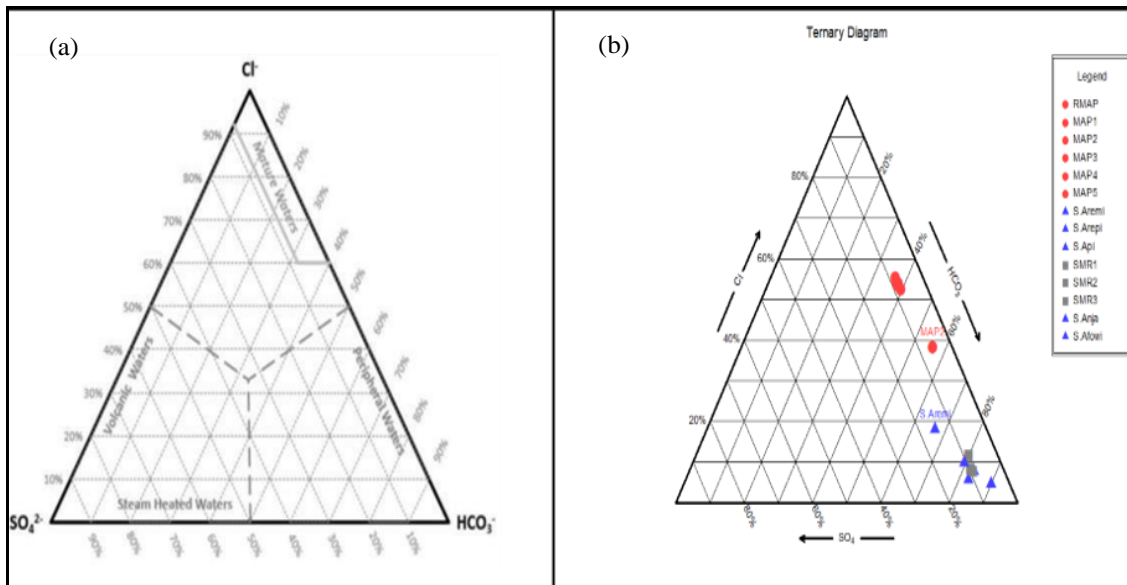
Gambar. 6. Hasil plot silang sampel penelitian pada diagram Piper

Hasil pengelompokan fasies menggunakan diagram piper serta diproyeksikan pada diagram plot silang ratio isotop $\delta^{18}O$ dan δ^2H . Hasil proyeksi tersebut menunjukkan bahwa terdapat dua kelompok sumber asal air, yaitu: (1) tipikal air termal yang biasa ditemukan pada sumur geothermal (titik berwarna kuning); dan (2) tipikal airtanah dangkal

dan air meteorik (Gambar 5). Ditinjau dari proses yang mempengaruhi nilai isotop terdapat empat proses yang mempengaruhi, yaitu: (1) Pertukaran CO₂ (titik berwarna hijau); (2) Evaporasi dari permukaan ternuka (titik berwarna abu-abu); (3) Reaksi dengan mineral (titik berwarna jingga); dan (4) Kondensasi (titik berwarna kuning) (Gambar 6).



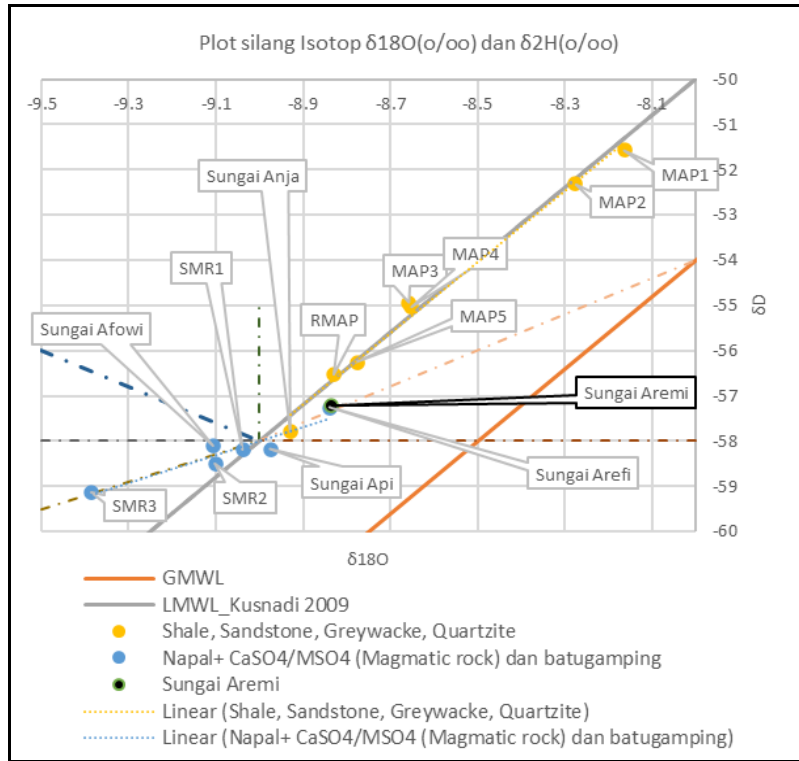
Gambar. 7. Plot silang unsur Cl-HCO3-SO4 sampel cair daerah penelitian pada Diagram Ternari ((a) klaifikasi di dalam (Meilani, 2016), (b) Plot silang unsur utama).



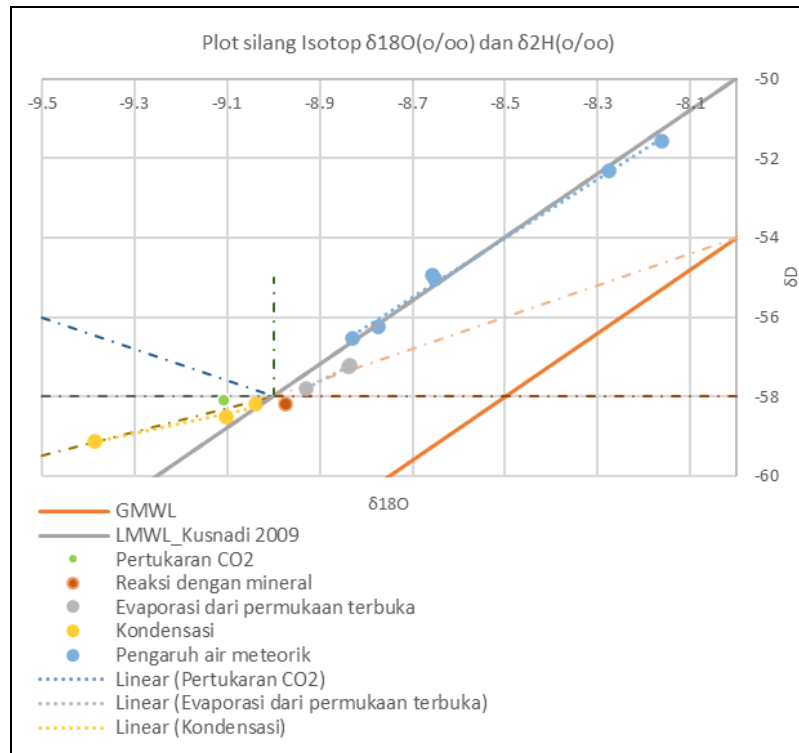
Gambar. 8. Plot silang unsur Cl-HCO3-SO4 sampel cair daerah penelitian pada Diagram ternari ((a) klasifikasi dalam (Marini, 2016), (b) plot silang unsur utama).

Berdasarkan hasil analisis rasio isotop stabil menunjukkan bahwa sampel air panas pada daerah penelitian jatuh pada garis air meteorik, namun hasil analisis ion utama menunjukkan hasil yang berbeda. Hubungan komposisi air dan karakteristik litologi akuifer dalam penelitian ini dapat dilihat menggunakan diagram gibbs. Gibbs (1970) di dalam (Musti'atin, 2018)) mengatakan bahwa banyak faktor yang mengontrol pembentukan *end-member* dari komposisi air di alam, tetapi pemahaman tentang faktor-faktor utama yang mempengaruhi komposisi ini masih belum diketahui secara luas. Gibbs (1970, dalam Musti'atin, 2018) kemudian membuat hubungan antara total padatan terlarut (TDS) dan

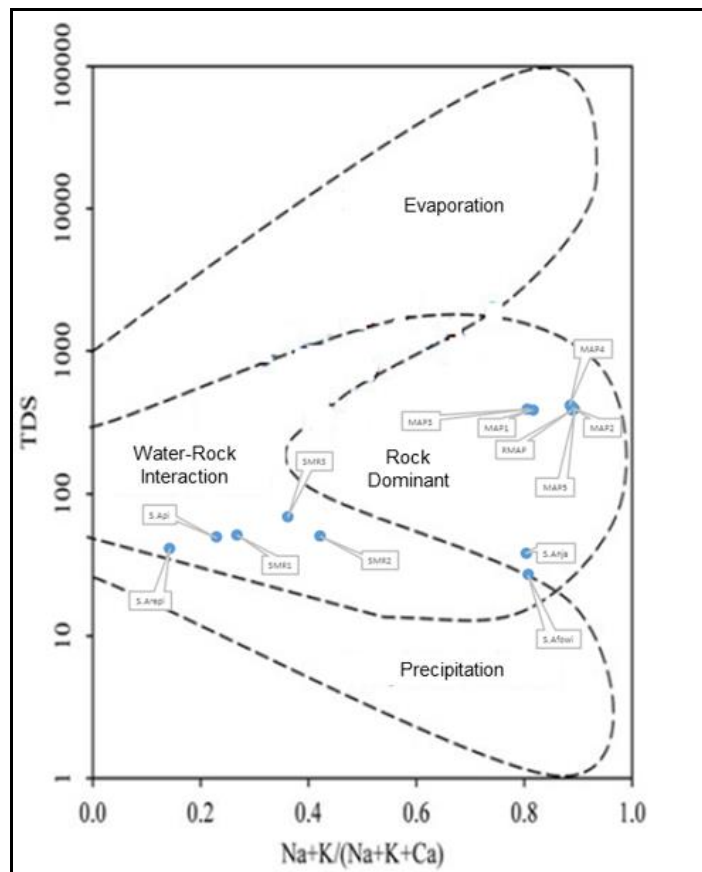
sodium-kalsium. Sodium adalah *end-member* kation utama yang mencirikan air dengan salinitas tinggi, sedangkan kalsium adalah *end-member* dari air permukaan. Berdasarkan kesimpulan dari diagram korelasi, terdapat tiga faktor utama yang dapat mengontrol komposisi utama air di alam, yaitu: (1) dominasi batuan; (2) penguapan pada permukaan; dan (3) presipitasi. Irisan antara dominasi batuan dan dua proses lainnya didefinisikan sebagai reaksi antara air dan batuan. Diagram gibbs menunjukkan bahwa sampel air panas dan Sugai Anja tergolong dalam dominasi batuan, sedangkan sampel air dingin lainnya menunjukkan hasil yang berbeda yaitu tergolong dalam interaksi air dan batuan (Gambar 7)



Gambar. 9. Plot silang rasio isotop $\delta^{18}\text{O}$ (‰) dan $\delta^2\text{H}$ (‰) (berdasarkan pengelompokan dari Diagram Piper)



Gambar. 10. Plot silang rasio isotop $\delta^{18}\text{O}$ (‰) dan $\delta^2\text{H}$ (‰)



Gambar. 11. Diagram Gibbs (modifikasi Gibbs, 1970)

KESIMPULAN

Sumber asal sampel air panas diindikasikan sebagai air meteorik dengan karakteristik air termal yang umumnya ditemukan pada sumur geotermal (NaCl dan CaHCO_3). Analisis unsur utama menunjukkan bahwa mata air panas di daerah penelitian berasal dari batuan serpih, batu pasir, dan kuarsit, serta sampel air panas ini tergolong sebagai air termal. Verifikasi menggunakan Diagram Gibbs menunjukan bahwa sampel air panas tergolong dominasi interaksi air dan batuan. Oleh karena itu dapat disimpulkan bahwa mata air panas di daerah Kebar dipengaruhi oleh interaksi tidak langsung (konduksi) antara air meteorik dan fluida panas bumi (berdasarkan hasil plot silang pada diagram Piper dan ternari). Hal ini diperkuat oleh hasil analisis rasio isotop stabil yang menunjukkan bahwa semua sampel air panas berada pada garis air meteorik.

DAFTAR PUSTAKA

- Back, W., (1966), *Hydrochemical Facies and Ground-Water Flow Patterns in Northern Part of Atlantic Coastal Plain*. Washington, United States Government Printing Office, pp. 227-224.
- David Gray, R. N. a. A. G., (2012), *Field Guide for Mineral Exploration Using Hydrogeochemical*

Analysis. Bentley, WA 6012: CSIRO Earth Science and Engineering.

Gibbs, R. K., (1970), Mechanism Controlling World Water Chemistry. *Science, New Series, Vol. 170, No. 3962*, pp. 1088-1090.

Kharisma, H. L., Wijatna, A. B. & Wilopo, W., (2015), Aplikasi Isotop Alam untuk Mengetahui Asal-Usul Air Umbul Cokro, Kecamatan Tulung, Kabupaten Klaten. *Forum Teknik Vol.36, No.1*, pp. 73-80.

Kusnadi, D., Sundhoro, H. & Bakrun, (2009), Penyelidikan Pendahuluan Panas Bumi Daerah Manokwari Provinsi Papua Barat. Bandung, Indonesia, s.n., pp. 69-88.

Marini, L., (2016), *Technical Workshop on the Geologic Development and Geophysics of the Western Branch of the Greater East African Rift System with Emphasis on Factors that Control the Development of their Geothermal Systems*, Kigali: s.n.

Meilani, (2016), *Eksplorasi Dan Evaluasi Panas Bumi Analisis Geokimia Fluida Manifestasi Panas Bumi Wilayah*, Bandung: Unpublished.

- Moustafa, Y. M. & Morsi, a. R. E., 2013. *Ion Exchange Chromatography- An Overview*. s.l.:Licensee InTech.
- Musti'atin, 2018. *Tesis "Analisis Hidrogeokimia Dan Isotop Stabil Mata Air Pada Jalur Sesar: Studi Kasus Sesar Lembang"*. Bandung: Unpublished.
- P. E. Pieters, U. H. d. C. A., 1989. *Peta Geologi Lembar Mar, Irian Jaya*, Bandung: Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
- Piper, A. M., 1944. *A Graphic Procedure in the Geochemical Interpretation of Waater-Analyses*. s.l., s.n., pp. 914-928.
- Postma, C. A. J. A. & D., 2005. *Geochemistry, Groundwater And Pollution, 2nd Edition*. Amsterdam, Netherlands: A.A. Balkema Publishers, Leiden, The Netherlands a member of Taylor & Francis Group plc.
- Rao, N. S., 2018. *Groundwater quality from a part of Prakasam District, Andhra*. *Applied Water Science*.