



Respons Psikologis Masyarakat Terhadap Proyek Pengembangan Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi: Kekhawatiran Ekspansi Lahan Dan Kehilangan Air Permukaan pada PLTP Unit 5 & 6 (2×20 MW), Kecamatan Tompaso, Minahasa

Hendra Riogilang^{#a}, Tiny Mananoma^{#b}, Steenie E. Walah^{#c}

[#]Program Studi Program Profesi Insinyur/Universitas Sam Ratulangi, Manado, Indonesia
^ahendra,riogilang@unsrat.ac.id, ^btiny.manaoma@unsrat.ac.id, ^cwsteeenie@yahoo.com

Abstrak

Dalam konteks pengembangan Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP) Unit 5 dan 6 (2×20 MW) di Kecamatan Tompaso, Kabupaten Minahasa, telah muncul dampak psikologis berupa kekhawatiran masyarakat terkait potensi perluasan penggunaan lahan untuk pembangunan infrastruktur dan instalasi pipa. Kekhawatiran signifikan lainnya adalah kemungkinan berkurangnya debit air permukaan yang berasal dari mata air alami, yang dimanfaatkan oleh masyarakat Desa Tonsewer Selatan untuk kegiatan pertanian hortikultura. Sektor hortikultura merupakan sumber utama mata pencaharian masyarakat Tonsewer Selatan. Oleh karena itu, sumber daya air dan lahan merupakan aset vital yang harus dijaga kelestarian dan keberlanjutannya. Berdasarkan kekhawatiran tersebut, masyarakat Tonsewer Selatan menyatakan penolakan terhadap proyek pengembangan panas bumi yang dilaksanakan oleh PT Pertamina Geothermal Energy (PGE). Menanggapi permasalahan tersebut serta untuk menjawab kekhawatiran masyarakat, Asisten II Pemerintah Kabupaten Minahasa menginisiasi suatu kajian ilmiah. Kajian ini meliputi: (i) identifikasi asal-usul air mata air, (ii) evaluasi potensi dampak proyek pengembangan panas bumi Unit 5 dan 6 (2×20 MW), dan (iii) identifikasi daerah imbuhan (recharge area) baik untuk mata air maupun reservoir panas bumi. Melalui kajian ini, diharapkan dapat meningkatkan pemahaman dan kesadaran masyarakat mengenai keberlanjutan mata air dalam kaitannya dengan keseluruhan proses pengembangan panas bumi. Selain itu, melalui diseminasi dalam bentuk seminar, diharapkan tercapai solusi optimal antara masyarakat dan PT PGE sebagai pengembang, sehingga pembangunan Unit 5 dan 6 dapat berjalan secara efektif tanpa memberikan dampak negatif terhadap sumber daya air alami yang menjadi tumpuan masyarakat Tonsewer Selatan.

Kata kunci : Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi, keberlanjutan sumber daya air, hidrogeologi, persepsi masyarakat, win win solutions

1. Pendahuluan

Wilayah Tompaso, Kabupaten Minahasa, menjadi perhatian serius bagi masyarakat setempat seiring dengan rencana pengembangan Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP). Masyarakat telah menyampaikan kekhawatiran kepada pihak pengembang terkait potensi dampak proyek tersebut terhadap ketersediaan sumber daya air di Desa Tonsewer, Touure, Pinabetengan, dan Kanonang. Lokasi penelitian ditunjukkan pada Gambar 1. Kekhawatiran utama masyarakat adalah kemungkinan terjadinya penurunan debit hingga hilangnya sumber air setelah proyek mulai beroperasi. Padahal, sumber daya air memiliki peranan yang sangat penting, khususnya dalam mendukung kegiatan irigasi pertanian hortikultura yang menjadi mata pencaharian utama masyarakat setempat. Sumber daya air tanah dan air permukaan merupakan komponen penting dalam keberlanjutan sistem pertanian dan ekosistem masyarakat pedesaan (Fetter, 1980; Emanuel, 2004).

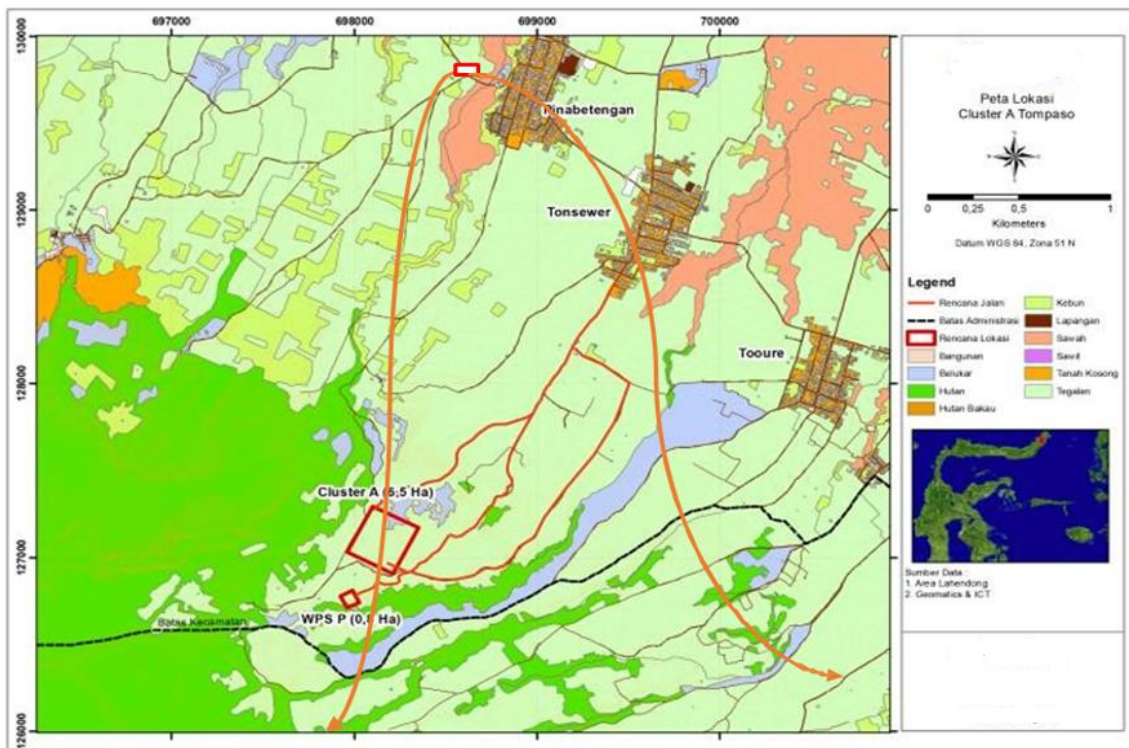
Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi asal-usul air di wilayah Tompaso Barat. Kajian dilakukan melalui analisis proses terbentuknya air, jalur aliran (flow path), interaksi kimia antara air dan litologi, serta pengaruh temperatur yang berkaitan dengan sistem panas bumi. Seluruh proses tersebut diinterpretasikan untuk menyusun model sistem air tanah dangkal di wilayah Tompaso Barat. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjelaskan apakah sumber air yang dimanfaatkan masyarakat berasal dari reservoir panas bumi atau dari sistem air tanah dangkal.

Masyarakat di wilayah Tompaso Barat menyatakan penolakan terhadap proyek pengembangan panas bumi apabila terbukti bahwa sumber air yang mereka manfaatkan berasal dari reservoir panas bumi. Menanggapi permasalahan tersebut serta untuk menjawab kekhawatiran masyarakat, Asisten II Pemerintah Kabupaten Minahasa menginisiasi suatu kajian ilmiah. Kajian ini meliputi: (i) identifikasi asal-usul air mata air, (ii) evaluasi potensi dampak proyek pengembangan panas bumi Unit 5 dan 6 (2×20 MW).

Kajian ilmiah ini difokuskan pada empat desa, yaitu Desa Pinabetengan, Desa Touure, Desa Tonsewer, dan Desa Kanonang. Secara khusus, penelitian di Desa Tonsewer bertujuan untuk mengidentifikasi asal-usul sumber air alami, baik yang berasal dari sistem air permukaan maupun yang berkaitan dengan reservoir panas bumi pada pengembangan PLTP Unit 5 dan 6 (2×20 MW), serta mengevaluasi potensi dampak dari kegiatan pengembangan tersebut.

Penelitian ini belum mencakup identifikasi dan delineasi daerah imbuhan (recharge area) yang menjadi sumber utama mata air yang dimanfaatkan masyarakat. Identifikasi daerah imbuhan merupakan aspek penting yang perlu dilakukan pada tahap lanjutan, mengingat kawasan tersebut harus dilindungi dan dikelola secara berkelanjutan (Halford & Meyer, 2000). Upaya konservasi, seperti revegetasi dan reforestasi pada zona imbuhan, diperlukan untuk menjamin keberlanjutan sistem mata air dalam jangka panjang (Hatton & Evans, 1998)..

Luaran yang diharapkan dari penelitian ini adalah tercapainya solusi yang saling menguntungkan (win-win solution) antara masyarakat, pemerintah daerah, dan PT Pertamina Geothermal Energy (PGE) sebagai pengembang PLTP Tompaso. Dengan demikian, kepentingan seluruh pemangku kepentingan dapat terakomodasi secara proporsional tanpa merugikan pihak mana pun. Selain itu, penelitian ini diharapkan dapat mendukung keberlanjutan sumber daya air sebagai penopang utama mata pencaharian masyarakat Desa Tonsewer, sekaligus menunjang keberhasilan pengembangan PLTP Unit 5 dan 6 (2×20 MW).



Gambar 1. Peta Lokasi Kegiatan Kajian Ilmiah Identifikasi Asal Asli Air di Desa Tonsewer dan Area Pengembangan PLTP Tompaso unit 5&6 sebesar (2x20MW).

2. Metode

2.1. Tahapan Pelaksanaan Lapangan dan Metodologi.

Pendekatan persuasif dan partisipatif diterapkan untuk mencapai solusi yang saling menguntungkan (*win-win solution*) melalui penekanan pada keterlibatan masyarakat, edukasi publik, serta transparansi. Pendekatan tersebut didukung oleh pelaksanaan serangkaian seminar yang didasarkan pada kajian ilmiah bersama terhadap permasalahan yang teridentifikasi. Kajian ilmiah dilakukan secara kolaboratif dan terbuka untuk menjamin kredibilitas, objektivitas, serta membangun kepercayaan antar pemangku kepentingan.

Hasil kajian ilmiah dipresentasikan dalam seminar bertajuk Konservasi Sumber Daya Air Alami dan Manifestasi Geotermal di Desa Tonsewer Selatan, Kecamatan Tompasso, Kabupaten Minahasa, Provinsi Sulawesi Utara. Pelaksanaan kegiatan diawali dengan pendekatan berbasis masyarakat yang bertujuan menghimpun informasi lokal serta menampung aspirasi dan kekhawatiran masyarakat, khususnya terkait dugaan dampak lingkungan dari aktivitas PT. Pertamina Geothermal Energy (PGE) dalam pengembangan Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP) Tompasso Unit 5 dan 6.

Keterlibatan masyarakat dilakukan secara aktif dalam proses kajian ilmiah melalui partisipasi langsung dalam pengambilan sampel air untuk analisis laboratorium. Partisipasi tersebut bertujuan meningkatkan pemahaman terhadap sistem hidrogeologi Desa Tonsewer serta mengidentifikasi asal-usul mata air alami di wilayah penelitian.

Kegiatan edukasi dilaksanakan melalui seminar untuk meningkatkan pemahaman masyarakat terhadap hasil penelitian dan kondisi sistem hidrogeologi lokal. Penyampaian materi dilakukan melalui presentasi di dalam ruangan serta penjelasan berbasis lapangan yang melibatkan masyarakat dan aparat desa. Sesi tambahan dilaksanakan untuk memperdalam pemahaman mengenai potensi dampak lingkungan dan sosial dari pengembangan energi panas bumi serta proses operasional PLTP Unit 5 dan 6.

Rekomendasi disusun berdasarkan hasil kajian sebagai upaya penyelesaian permasalahan yang teridentifikasi. Penyusunan rekomendasi diarahkan untuk mencapai keseimbangan kepentingan serta menghasilkan solusi yang transparan dan saling menguntungkan bagi seluruh pemangku kepentingan.

2.2. Pengambilan Sampel dan Analisis Metodologi

Seluruh sampel air dikumpulkan menggunakan botol polipropilena berukuran 250 mL setelah melalui proses filtrasi menggunakan membran filter berukuran 0,45 μ m (Gillham et al., 1983). Temperatur air, konduktivitas listrik (EC), dan pH diukur langsung di lapangan menggunakan instrumen portabel (Werner & James, 1996).

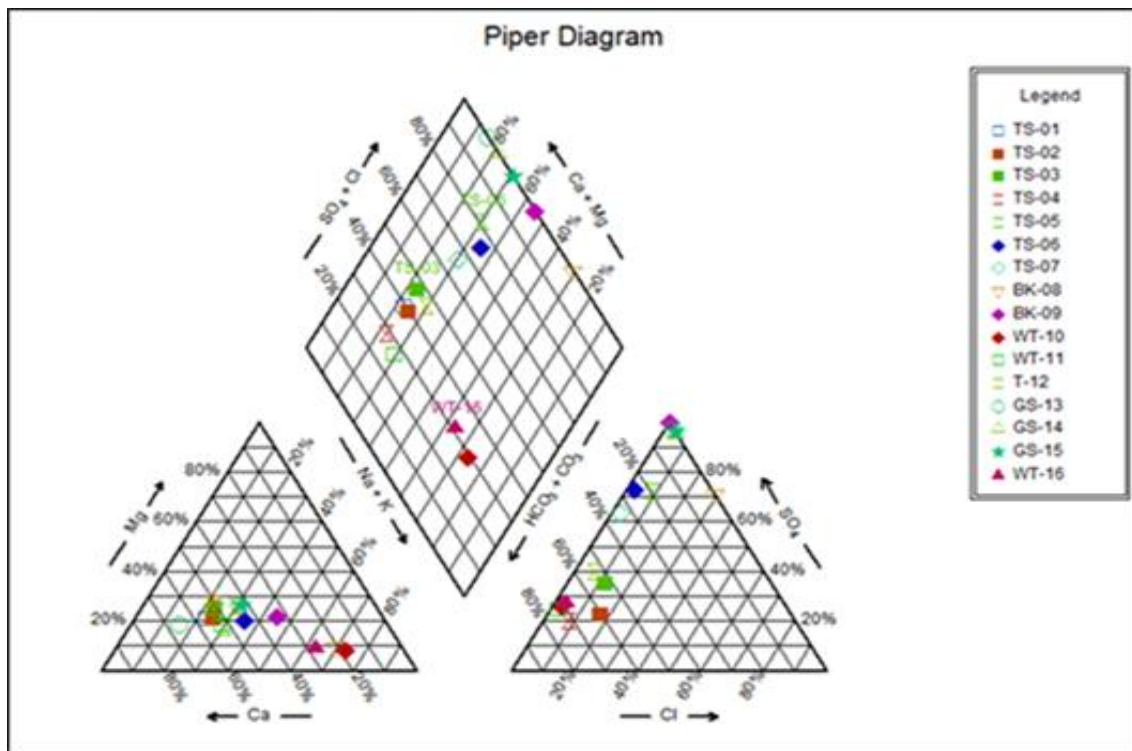
Analisis anion (F, Cl, Br, NO₃, PO₄, dan SO₄) serta kation (Li, Na, NH₄, K, Mg, dan Ca) dilakukan menggunakan sistem kromatografi ion (Dionex ICS-90). Kandungan bikarbonat (HCO₃⁻) dianalisis menggunakan metode titrasi di Laboratorium Universitas Kyushu. Konsentrasi SiO₂ dan Fe total diukur menggunakan spektrofotometer (Hitachi U-1800) dengan metode molibdat kuning dan metode 1,10-fenantrolin.

Kualitas analisis dievaluasi menggunakan neraca ion (ion balance/IB) antara total anion dan kation sesuai persamaan berikut:

$$IB(\%) = \frac{\sum \text{Kation (meq./L)} - \sum \text{Anion (meq./L)}}{\sum \text{Kation (meq./L)} + \sum \text{Anion (meq./L)}} \times 100 \quad (1)$$

Tipe air dianalisis menggunakan diagram Piper sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2.

Diagram Piper merupakan representasi grafis komposisi kimia sampel air. Kation dan anion ditampilkan dalam dua diagram segitiga (ternary plot) terpisah. Sudut-sudut diagram kation terdiri atas kalsium (Ca), magnesium (Mg), serta natrium ditambah kalium (Na+K). Sudut-sudut diagram anion terdiri atas sulfat (SO₄), klorida (Cl), serta karbonat ditambah bikarbonat (CO₃ + HCO₃). Kedua diagram segitiga tersebut kemudian diproyeksikan ke dalam bidang belah ketupat (diamond). Bidang tersebut merupakan transformasi matriks dari perbandingan anion dan kation, yaitu (sulfat + klorida/total anion) dan (natrium + kalium/total kation).



Gambar 2. Analisis Kimia Sampel Air

3. Geologi dan Struktur

Wilayah penelitian terletak di Tompaso Barat yang secara administratif mencakup Desa Kanonang, Pinabetengan, Toure, dan Tonsewer. Litologi penyusun daerah penelitian terdiri atas batuan berumur Tersier dan Kuartar. Batuan sedimen Tersier tersusun atas serpih (shale) dan batupasir (sandstone) dengan sisipan batugamping (limestone) dan rijang (chert), yang kemudian ditutupi oleh batuan vulkanik berumur Tersier dan Kuartar. Batuan vulkanik Tersier merupakan produk gunung api tua yang terdiri atas breksi, tuf, dan lava. Di atasnya berkembang batuan vulkanik muda (Qv), Tuf Tondano (Qtv), serta endapan lakustrin dan fluviatil (Qs) yang menutupi batuan vulkanik Tersier (Tmv) di wilayah Tompaso Barat. Batuan vulkanik Tersier umumnya tersusun atas breksi, lava, dan tuf, dengan aliran lava yang umumnya berkemposisi andesitik hingga basaltik.

Batuan vulkanik muda terdiri atas lava, bom vulkanik, lapili, dan abu, yang membentuk gunung api strato muda seperti Gunung Soputan. Endapan klastik vulkanik kasar dari Tuf Tondano memiliki komposisi andesitik dengan fragmen bersudut hingga agak membulat (angular hingga subangular), dicirikan oleh kelimpahan fragmen pumis, tuf, serta breksi tuf lapili. Endapan ini merupakan ignimbrit yang sangat padat dengan struktur aliran (flow structure). Sementara itu, endapan lakustrin dan fluviatil tersusun atas pasir, lanau, konglomerat, dan didominasi oleh lempung.

Daerah kajian (ditandai dengan garis kuning pada peta geologi kajian panas bumi cluster A, lihat Gambar 3) untuk pengembangan panas bumi di cluster A oleh PT.PGE terletak pada area Endapan Danau dan Sungai (Qs), Batuan Gunungapi Muda (Qv), Tufa Tondano (Qtv/Qtv1).

Struktur geologi di wilayah Tompaso Barat menunjukkan keberadaan sesar dan rekahan dengan beberapa arah utama, yaitu timur laut–barat daya (NE–SW), barat laut–tenggara (NW–SE), timur–barat (E–W), dan utara–selatan (N–S). Rekahan berarah NE–SW memotong batuan vulkanik muda, Tuf Tondano, serta endapan lakustrin dan fluviatil yang tersebar di wilayah Desa Pulutan, Tolok Satu, Liba, Kamanga Dua, Tonsewer Selatan, Toure Dua, dan Toure Satu.

Sesar berarah NE–SW juga memotong satuan batuan vulkanik muda dan Tuf Tondano, yang meliputi wilayah Desa Kanonang Dua, Pinabetengan Selatan, Tompaso Dua, Pinaesaan, Talikuran, Sendangan, Kamanga Dua, Tondegesean Satu, Tempok Selatan, Tempok, Liba, Kamanga, Taraitak Satu, Paslaten, dan Kanonang Empat. Selain itu, rekahan dengan arah yang sama (NE–SW) juga berkembang pada wilayah-wilayah tersebut.



Gambar 3. Peta Geologi Kajian Panas Bumi Cluster A.

Rekahan berarah timur–barat (E–W) memotong batuan vulkanik muda, Tuf Tondano, serta endapan lakustrin dan fluviatil yang terdapat di Desa Tonsewer Selatan, Toure Dua, Tumaratas Satu, dan Taraitak. Sementara itu, sesar berarah utara–timur (N–E) memotong batuan vulkanik muda yang tersebar di wilayah Desa Kanonang Satu dan Kanonang Dua.

Desa Tonsewer Selatan berada pada daerah Gunung Api Muda (Qv), Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.

Karakteristik litologi dan struktur geologi berpengaruh langsung terhadap pola aliran air tanah dan sistem hidrotermal pada daerah vulkanik (Fetter, 1980). Rekahan dan sesar geologi berfungsi sebagai jalur permeabilitas yang mengontrol sirkulasi fluida panas bumi maupun aliran air tanah dangkal (Matthew, 2007). Sistem panas bumi pada daerah vulkanik umumnya berkaitan erat dengan struktur geologi regional dan aktivitas tektonik (Matthew, 2007). Interaksi antara air permukaan dan air tanah sangat dipengaruhi oleh kondisi geologi, topografi, serta karakteristik akuifer setempat (Harvey & Bencala, 1993; Hayashi & Rosenberry, 2002).

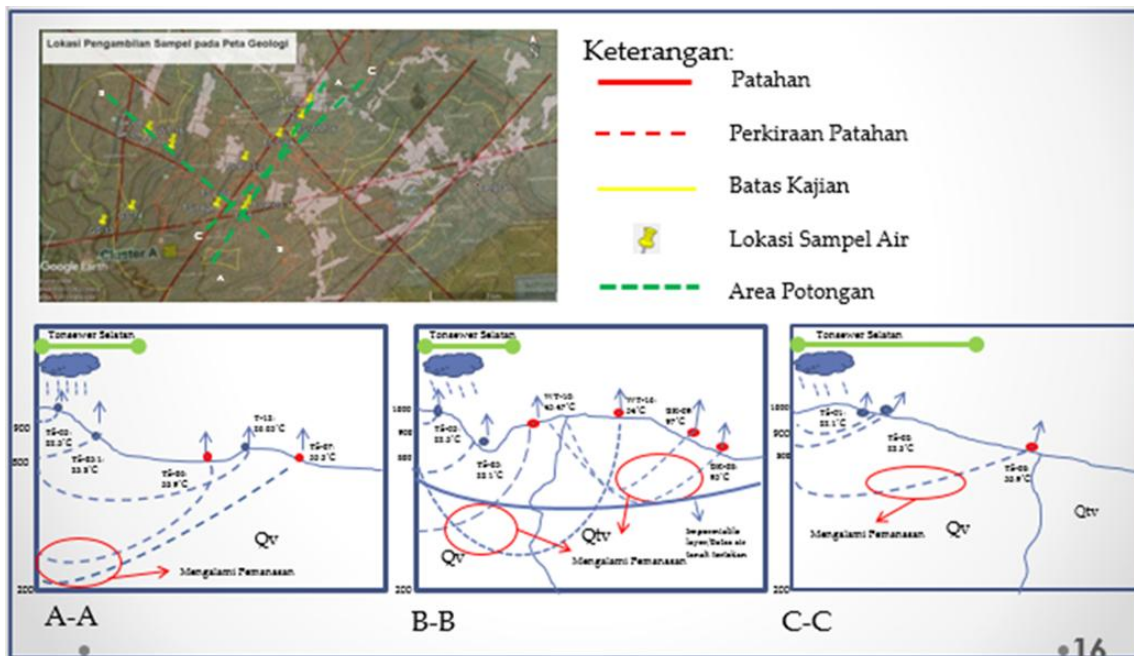
4. Hasil dan Pembahasan

Sebanyak enam belas sampel air dikumpulkan dari mata air panas, mata air, dan sungai pada wilayah seluas ± 4 km arah utara–selatan dan ± 5 km arah timur–barat dari West Tompasso. Ketinggian lokasi pengambilan sampel berkisar antara 802 m dpl (TS-7) di Desa Tonsewer hingga 1.309 m dpl (GS-13) di Gunung Sempu. Hasil analisis kimia sampel air dikontrol menggunakan neraca ion (ion balance). Seluruh hasil analisis dalam penelitian ini memiliki nilai IB < 13%, kecuali pada sampel yang bersifat asam. Diagram Piper digunakan untuk mengevaluasi karakteristik kimia air serta mengidentifikasi tipe air (Werner & James, 1996), sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2.

Tipe air diklasifikasikan menggunakan diagram Piper ke dalam lima kelompok, yaitu Ca-HCO₃, Ca-SO₄, Na-HCO₃, Na-SO₄, dan H-SO₄ sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 1. Sampel air TS-1, TS-02, TS-03, TS-04, WT-11, dan T-12 termasuk dalam tipe Ca-HCO₃ yang diinterpretasikan sebagai air tanah dangkal (Fetter, 1980). Sampel air TS-05, TS-06, TS-07, GS-13, GS-14, dan GS-15 termasuk dalam tipe Ca-SO₄ yang diidentifikasi berasal dari mata air panas. Sampel air WT-10 dan WT-16 termasuk dalam tipe Na-HCO₃ yang dikategorikan sebagai akuifer tertekan (confined aquifer) (Werner & James, 1996). Sampel air BK-08 termasuk dalam tipe Na-SO₄ yang merupakan air panas dengan pengaruh salinitas. Air tersebut telah mengalami interaksi dengan litologi bersifat alkali serta pemanasan pada kedalaman sebelum keluar ke permukaan

pada elevasi yang lebih rendah. Sampel air BK-09 termasuk dalam tipe H-SO₄ yang mengindikasikan air hasil pemanasan uap (steam heated water) dengan karakter asam kuat (Matthew, 2007). Air ini berasal dari proses pendidihan air pada kedalaman yang mengandung H₂S, yang kemudian naik ke permukaan, bereaksi dengan oksigen pada air permukaan, dan keluar sebagai air bersuhu tinggi dengan sifat asam (>90°C). Model air tanah dangkal dan air permukaan di West Tompaso dikembangkan dan ditunjukkan pada Gambar 4.

Keenam belas sampel air tersebut dikumpulkan dari sungai, mata air, dan mata air panas di Desa Pinabetengan, Toure, Tonsewer, dan Kanonang di wilayah West Tompaso, Kabupaten Minahasa, Sulawesi Utara, Indonesia. Tipe air di West Tompaso diidentifikasi sebagai Ca-HCO₃, Ca-SO₄, Na-HCO₃, Na-SO₄, dan H-SO₄. Seluruh sampel air TS-1, TS-02, TS-03, TS-04, TS-5, TS-6, TS-07, BK-08, WT-10, WT-11, T-12, GS-13, GS-14, GS-15, dan T-16 diidentifikasi sebagai air permukaan dan air tanah dangkal. Air tersebut berasal dari air hujan yang mengalir ke permukaan, kemudian meresap ke dalam tanah, bergerak melalui sistem akuifer dangkal maupun dalam (tertekan maupun tidak tertekan), sebelum akhirnya keluar kembali ke permukaan pada elevasi yang lebih rendah, lihat Gambar 4. Sebagian air lainnya yang mengalami sirkulasi lebih dalam dalam memperoleh pemanasan dari sistem geotermal alami dan keluar ke permukaan sebagai mata air panas dengan suhu tinggi. Sumber air di Desa Pinabetengan, Toure, Tonsewer, dan Kanonang juga diidentifikasi berasal dari air tanah dangkal dan air permukaan.



Gambar 4. Konsep Model Sistem Hidrogeologi Tompaso menunjukkan Lokasi Pengambilan Sampel serta Peta Geologi Permukaan dan Struktur Geologi Daerah Penelitian.

Interaksi antara sistem air permukaan dan air tanah dipengaruhi oleh kondisi morfologi dan struktur bawah permukaan (Harvey & Bencala, 1993). Pertukaran air tanah dengan aliran permukaan memiliki pengaruh signifikan terhadap sistem hidrologi lokal dan keberlanjutan mata air (Hayashi & Rosenberry, 2002). Kondisi recharge area sangat menentukan keberlanjutan sistem air tanah dangkal dan debit mata air alami (Halford & Meyer, 2000). Keberlanjutan ekosistem dan aktivitas pertanian masyarakat sangat bergantung pada konservasi sumber daya air tanah dan daerah imbuhan (Hatton & Evans, 1998).

Kegiatan sosialisasi dilaksanakan dalam dua tahap utama sebagai bagian dari proses diseminasi informasi dan penguatan keterlibatan pemangku kepentingan. Tahap pertama merupakan sosialisasi yang dilakukan oleh pemrakarsa dan tim kajian kepada Asisten II Pemerintah Kabupaten Minahasa yang dilaksanakan di Tondano pada tanggal 11 Mei 2018. Kegiatan ini bertujuan untuk menyampaikan hasil kajian, serta memastikan keselarasan antara pelaksanaan dan hasil kajian dengan kebijakan pemerintah daerah serta tuntutan masyarakat di daerah kajian sebagai *win win solution*. Tahap kedua merupakan sosialisasi tim kajian kepada masyarakat Desa Tonsewer dan Tonsewer Selatan, Kecamatan Tompaso, yang dilaksanakan pada

tanggal 30 Mei 2018. Kegiatan ini bertujuan untuk memberikan pemahaman kepada masyarakat mengenai tujuan penelitian, metode pelaksanaan, serta isu-isu yang menjadi fokus kajian, sekaligus menjawab pertanyaan dan aspirasi masyarakat terkait kondisi sumber daya air dan aktivitas pengembangan panas bumi di wilayah tersebut.

5. Kesimpulan

5.1. Kesimpulan

Kajian ilmiah yang dilakukan di Desa Tonsewer Selatan didasarkan pada investigasi lapangan, analisis hidrogeologi, serta keterlibatan pemangku kepentingan. Hasil kajian menunjukkan bahwa:

1. Sumber air di Desa Tonsewer Selatan teridentifikasi sebagai air permukaan yang tidak berasal dari reservoir panas bumi yang direncanakan untuk dimanfaatkan oleh PT. Pertamina Geothermal Energy (PGE) dalam pengembangan Klaster A.
2. Sistem air permukaan tidak menunjukkan keterkaitan atau hubungan hidraulik dengan reservoir panas bumi tersebut.
3. Ketersediaan air permukaan dipengaruhi secara dominan oleh kondisi iklim dan cuaca serta status konservasi daerah imbuhan.

5.2. Rekomendasi

1. Kegiatan eksploitasi dan operasional panas bumi pada Klaster A tidak memberikan dampak negatif terhadap ketersediaan air permukaan maupun keberlanjutan pertanian hortikultura di Desa Tonsewer Selatan.
2. Kegiatan pengembangan/ pembukaan Cluster A tidak mencakup area hutan lindung.
3. Kegiatan eksploitasi (operasi) panas bumi di Cluster A tidak berdampak pada ketersediaan air permukaan dan pertanian hortikultura di Desa Tonsewer Selatan.

Ucapan Terima Kasih

Penulis menyampaikan terima kasih kepada PT Pertamina Geothermal Energy (PGE) atas dukungan pendanaan dan fasilitasi pelaksanaan kegiatan penelitian ini. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada Pemerintah Kabupaten Minahasa atas pemberian izin penelitian serta dukungan administratif selama kegiatan berlangsung. Dukungan kedua pihak tersebut sangat berkontribusi terhadap kelancaran dan keberhasilan penelitian ini.

Referensi

- Anderson T W, Freethy G W, Tucci P 1992 Geohydrology and water resources of alluvial basins in south-central Arizona and parts of adjacent States. Professional Paper 1406-B. Washington, DC: U.S. Geological Survey.
- Emanuel M 2004 Global Water Dynamics, Marcel Dekker Inc, New York 393pg.
- Fetter C W 1980 Applied Hydrogeology, Pentice Hall Inc, New Jersey, Fourth Edition 599pg.
- Gillham R W, Robin M J L, Barker, J F, Cherry, J A 1983 Ground water monitoring and sample bias. Publication 4367. Washington, DC: American Petroleum Institute.
- Halford J and Meyer G C 2000 Problems associated with estimating groundwater discharge and recharge from stream-discharge records, *Ground Water* 38(3) pp. 331–342.
- Hamerlinck J D and Ameson C S 1998 Wyoming ground water vulnerability assessment technical guide. Spatial Data Visualization Center Report SDVC 98-01. Laramie, WY: University of Wyoming 2 vol.
- Harvey J W and Bencala K E 1993 The effect of streambed topography on surface-subsurface water exchange in mountain catchments. *Water Resources Research* 29 pp.89–98.
- Hatton T and Evans R 1998 Dependence of ecosystems on ground water and its significance to Australia. Occasional Paper No. 12/98. Australia: Land and Water Resources Research and Development Corp., CSIRO. 77 p.
- Hayashi M and Rosenberry D O 2002 Effects of ground water exchange on the hydrology and ecology of surface water. *Ground Water* 40 pp.309–316.
- Matthew J K 2007 Paleoaltimetry Geochemical and Thermodynamic Approaches, *Geochemical Society Mineralogical of America* 66 278pg.
- Werner S and James J M 1996 Aquatic Chemistry, John and Wiley Sons Inc. New York, Third Edition 1024pg.