

Pemetaan Sebaran Air Tanah Wilayah Kota Piru Kabupaten Seram Bagian Barat

Mapping of Groundwater Distribution in the Piru City Area, West Seram Regency

Fakri Banyal¹, Roberth Berthy Riry^{1*}, W. S. Pinoa¹

Program studi Pendidikan Geografi FKIP, Universitas Pattimura, Ambon, Indonesia

***Corresponding Author**

E-mail: riry.berthy@gmail.com

ORCID iD: <http://orcid.org/0009-0006-0913-0188>

Info Artikel: Submitted: 04 Maret 2024 | Revised: 12 Maret 2024 | Accepted: 10 Mei 2024 | Published 08 Juni 2024

Abstrak: Air tanah dibagi menjadi dua, air tanah dangkal dan air tanah dalam. Air tanah dangkal merupakan air yang berasal dari air hujan dan terletak tidak jauh dari permukaan tanah serta berada di atas lapisan kedap air. Sedangkan air tanah dalam adalah air hujan yang meresap ke dalam tanah lebih dalam lagi melalui proses absorpsi serta filtrasi oleh batuan dan mineral di dalam tanah. Adapun pemanfaatan pengolah data spasial ArcGIS 10.4.1 yang dilakukan diantaranya terdapat pada proses digitisasi untuk mengkonversi data dalam format raster ke dalam format data spasial. Analisis konfigurasi akuifer dengan pendugaan geolistrik (schlumberger), yang diperjelas dengan menggunakan diagram Stiff. Analisis hidrostratigrafi berdasarkan pengukuran geolistrik membedakan konfigurasi akuifer menjadi beberapa penampang batuan. Konfigurasi akuifer melibatkan lapisan tanah penutup, lempung, pasir-kerikil sebagai akuifer, dan lapisan batuan dengan beberapa keberadaan akuifer asin.

Kata Kunci: Pemetaan, Sebaran Air Tanah, Air Tanah

Abstract: *Soil water is divided into two parts: shallow groundwater and deep groundwater. Shallow groundwater is water that comes from rainwater, is located not far from the surface of the soil, and is above the water-resistant layer. Inland water is rainwater that is absorbed into the deeper soil through the process of absorption and filtration by rocks and minerals in the ground. As for the use of ArcGIS 10.4.1 spatial data processor, one of them is the process of digitization to convert data in raster format into spaced data format. Aquifer configuration analysis with Schlumberger prediction, clarified using the Stiff diagram, and hydrostratigraphic analysis based on geo-electric measurements distinguish aquifer configurations into several penetrations of rocks.*

Keywords: *Mapping, Groundwater Distribution, Groundwater*

Panduan Sitasi: Banyal, F. et al. (2024). Pemetaan Sebaran Air Tanah Wilayah Kota Piru Kabupaten Seram Bagian Barat. *GEOFORUM Jurnal Geografi dan Pendidikan Geografi*, 3 (1), 55-66. <https://doi.org/10.30598/geoforumvol3iss1pp55-66>

PENDAHULUAN

Pulau Seram, sebagai pulau terbesar di Provinsi Maluku dengan luas daratan

mencapai 1.862.500 hektar, menawarkan potensi besar untuk pengembangan berbagai komoditas pertanian (Kholis & Rendra, 2022). Saat ini, wilayah ini telah menjadi sentra

produksi beberapa komoditas unggulan di Maluku, seperti padi sawah, sayuran, buah-buahan, cengkih, pala, kelapa sawit, dan sagu (Imam Mashudi et al., 2021). Ketersediaan lahan yang luas di Pulau Seram memberikan indikasi positif untuk pengembangan lebih lanjut dalam sektor pertanian. Potensi ini dapat dioptimalkan untuk meningkatkan produksi dan diversifikasi komoditas, mendukung pertumbuhan ekonomi regional, dan menciptakan lapangan kerja bagi masyarakat setempat (Purwakusuma et al., 2022). Dukungan pemerintah dalam hal infrastruktur pertanian, pelatihan petani, dan pengembangan teknologi pertanian dapat menjadi kunci keberhasilan dalam memanfaatkan potensi pertanian Pulau Seram untuk masa depan yang berkelanjutan (Anwar et al., 2019).

Secara geologi, wilayah Kota Piru dan sekitarnya geologinya didominasi oleh batuan metamorf berumur tua, yang memiliki karakteristik cenderung kedap terhadap air. Selain itu, terdapat endapan aluvial yang diperkirakan memiliki potensi sebagai akuifer, meskipun dengan keterbatasan baik dari segi luas maupun ketebalan. Oleh karena itu, potensi air tanah di daerah ini dapat dianggap relatif terbatas. Adanya batuan metamorf yang kedap terhadap air dapat membatasi kemampuan akuifer dalam menyimpan dan memancarkan air tanah (Anindya, et al., 2022). Meskipun terdapat endapan aluvial yang dapat berperan sebagai sumber air tanah, keterbatasan luas dan ketebalan endapan tersebut menjadi faktor pembatas dalam memanfaatkannya secara optimal. (Kustiyaningsih et al., 2020). Penting untuk mempertimbangkan lokasi geografis Kota Piru yang berada di daerah pantai. Pengambilan air tanah yang berlebihan dapat mengakibatkan degradasi air tanah dan meningkatkan risiko intrusi air laut. Oleh karena itu, pengelolaan yang bijak terhadap sumber daya air tanah, termasuk kontrol pengambilan air tanah, diperlukan untuk mencegah dampak negatif terhadap kualitas air tanah dan menjaga keseimbangan ekosistem akuifer (Annisa et al., 2023). Upaya ini menjadi krusial untuk memastikan keberlanjutan dan ketersediaan air tanah di wilayah Kota Piru dan sekitarnya.

Pemanfaatan air tanah dangkal, terutama oleh tumbuhan yang mengikatnya, dapat membantu mengontrol erosi dan menjaga keseimbangan ekosistem (Ossai et al 2019). Namun, pengambilan air tanah dalam yang berlebihan, terutama di daerah pesisir, dapat menyebabkan penurunan tingkat air tanah dan menciptakan tekanan negatif pada ekosistem akuifer (Nurfalaq et al., 2020). Pengurangan tingkat air tanah dalam dapat meningkatkan risiko intrusi air laut, terutama di daerah pesisir yang rentan. Ketika tingkat air tanah menurun, lapisan air tanah dapat menjadi lebih rentan terhadap penetrasi air laut (Putranto et al. 2019). Oleh karena itu, pengelolaan sumber daya air tanah harus dilakukan dengan bijak untuk mencegah penurunan tingkat air dan melindungi ekosistem akuifer dari intrusi air laut yang merugikan (Aryadi Nurfalaq, Iin Karmila Putri 2020).

Di sisi lain, pertumbuhan penduduk yang terus meningkat di Kota Piru tidak hanya menimbulkan peningkatan kebutuhan akan air, tetapi juga memicu peningkatan kebutuhan lahan untuk pembangunan, permukiman, usaha, dan fasilitas lainnya (Senoaji & Lesmana, 2021) Fenomena ini mendorong percepatan alih fungsi lahan, di mana lahan yang sebelumnya digunakan sebagai hutan dapat berubah menjadi lahan pertanian, perkebunan, bahkan beralih menjadi kawasan industri dan pemukiman. Keberadaan air tanah dan potensinya sangat dipengaruhi oleh faktor-faktor lingkungan, seperti formasi geologi atau sifat batuan yang menentukan kapasitas akuifer dalam menyimpan dan mengalirkan air (Leuwol, et al., 2023). Selain itu, bentuk lahan juga memiliki peran penting dalam memengaruhi kuantitas dan kualitas air tanah. Alih fungsi lahan yang tidak terkendali dapat berdampak negatif pada sumber daya air tanah, mempercepat penurunan kualitas air, dan mengurangi ketersediaan air yang vital bagi masyarakat dan ekosistem setempat (Purnama, 2019).

Pentingnya pengelolaan yang berkelanjutan dan bijaksana terhadap sumber daya alam, termasuk air tanah, menjadi krusial dalam menghadapi pertumbuhan penduduk dan perubahan tata guna lahan (Sari, 2022).

Langkah-langkah strategis diperlukan untuk menjaga keseimbangan antara kebutuhan manusia dan pelestarian ekosistem, sehingga potensi air tanah dapat tetap berkelanjutan dalam mendukung kehidupan di Kota Piru dan sekitarnya.

METODE

Metode penelitian ini mengusung pendekatan survey dengan menggunakan analisis data primer dan sekunder. Data diperoleh dari berbagai sumber, termasuk citra satelit, peta tematik, observasi lapangan, dan data resmi dari dinas terkait. Pendekatan ini memberikan keberagaman informasi yang diperlukan untuk merinci aspek penelitian. Proses pengumpulan data melibatkan teknik pencarian informasi sistematis, dengan menggunakan mesin pencari seperti Google Scholar dan basis data penelitian lainnya. Metode ini memastikan data yang terkumpul relevan dan mendalam. Setelah itu, data tersebut akan dianalisis secara kritis dan sintesis.

Analisis data mencakup identifikasi kesamaan, perbedaan, dan kesimpulan dari setiap penelitian yang dievaluasi. Pendekatan ini memungkinkan peneliti untuk merinci temuan, menghubungkan informasi yang beragam, dan mengembangkan kesimpulan yang komprehensif. Dengan demikian, metode survey ini memadukan pendekatan analisis primer dan sekunder untuk memberikan wawasan yang mendalam dalam penelitian ini. (Leuwol, et al., 2023). Penelitian ini terdiri dari 3 (tiga) tahap yaitu: 1). tahap persiapan (menyusun rencana, alat dan bahan, pembuatan peta kerja lapangan dan penentuan lokasi pengambilan sampel), 2). tahap pelaksanaan penelitian/pekerjaan lapangan dan 3). tahap analisis data.

Tahap pertama yaitu tahap persiapan alat dan bahan yang terdiri dari alat berupa Kompas, Palu geologi, Peralatan geolistrik beserta kelengkapannya, Global Positioning System (GPS), Electric conductivity/EC-meter, pH-meter, Stop watch, Altimeter, Botol plastik, Kamera digital, Water level indicator, Pompa air, Perangkat keras (hardware) dan Perangkat lunak (software), Aplikasi Mapinfo Profesional 8.0, Corel Draw X3, Freehand 10,

Rockworks 2002, IP2 Win dan GWW 1995. Persiapan bahan terdiri dari pengolahan Peta Topografi Pulau Seram skala 1: 100.000, Peta Geologi lembar pulau Ambon dan lembar Maluku Tengah skala 1 : 100.000, Peta Hidrogeology Lembar Pulau Ambon dan Maluku Tengah skala 1 : 100.000 dari Dinas ESDM Provinsi Maluku dan Citra Landsat 8 dari Lembaga Antariksa dan Penerbangan Nasional (LAPAN) dan pembuatan peta kerja lapangan.

Tahap kedua yaitu tahap pelaksanaan penelitian/pekerjaan lapangan (pengumpulan data di lapangan), meliputi:

- a. Data konfigurasi akuifer (data hidrostratigrafi akuifer) dengan metode survei pendugaan geolistrik (metode schlumberger).
- b. Data parameter akuifer (nilai transmisivitas, kapasitas jenis sumur, radius pengaruh dengan metode uji pemompaan (pumping test)).
- c. Data sifat fisik dan kimia air tanah meliputi suhu/temperatur, warna, rasa, bau, kekeruhan, konduktifitas elektrik/ daya hantar listrik (DHL), pH, Total Dissolved Solid (TDS)/ Zat Padat Terlarut.
- d. Data debit dan tinggi muka air (sungai dan mata air).
- e. Laporan-laporann Penelitian Sebelumnya. Data pengukuran Muka Air tanah (MAT) yang diambil dari sumur gali dengan menggunakan water level indicator.
- f. Data konfigurasi akuifer (data hidrostratigrafi akuifer) dengan metode survei pendugaan geolistrik (metode schlumberger).
- g. Data parameter akuifer (nilai transmisivitas, kapasitas jenis sumur, radius pengaruh dengan metode uji pemompaan (pumping test))
- h. Data sifat fisik dan kimia air tanah meliputi; suhu/ temperatur, warna, rasa, bau, kekeruhan, konduktifitas elektrik/ daya hantar listrik (DHL), pH, Total Dissolved Solid (TDS)/Zat Padat Terlarut.
- i. Data debit dan tinggi muka air (sungai dan mata air).
- j. Pengumpulan data sekunder meliputi hasil penelitian sebelumnya.

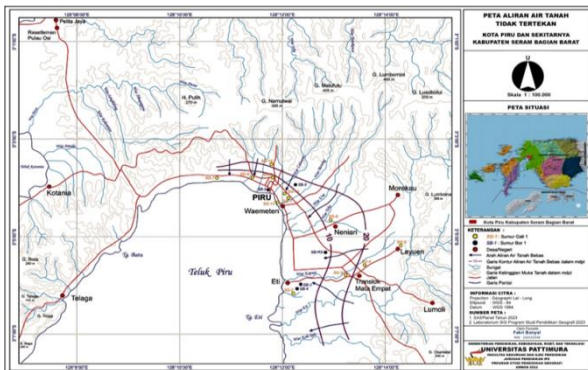
Tahap ketiga yaitu tahap analisis data, meliputi Analisis data aliran muka air tanah, Analisis konfigurasi akuifer dengan pendugaan geolistrik (schlumberger), analisis data pumping test, analisis kualitas air tanah yang diperjelas dengan menggunakan diagram Stiff, Piper dan Wilcox, analisis potensi kuantitatif dan analisis arah pemanfaatan air tanah.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Air tanah mengalir dari daerah yang memiliki potensial tinggi ke daerah dengan potensial rendah. Kecepatan aliran air tanah selain ditentukan dari nilai kelulusan media akuifernya juga ditentukan oleh besar gradien hidroliknya. Semakin besar gradien hidroliknya maka aliran air tanah akan semakin cepat (Hidraulic Head). Analisis arah aliran air tanah, baik pada akuifer bebas (air tanah tidak tertekan) maupun akuifer tertekan (air tanah tertekan) dilakukan berdasarkan data muka air tanah dari sumur gali untuk akuifer bebas dan sumur bor untuk akuifer tertekan.

Aliran Air Tanah Tidak Tertekan (akuifer bebas).

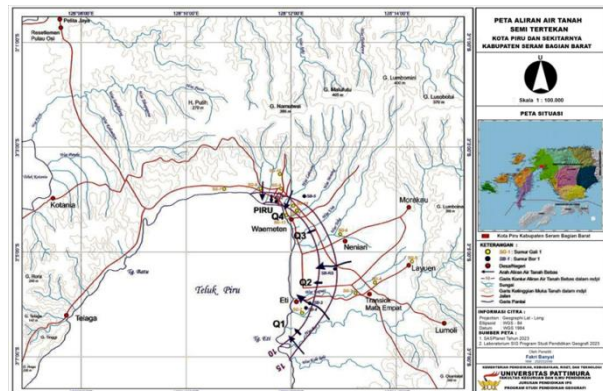
Analisis arah aliran air tanah tidak tertekan dilakukan berdasarkan analisis muka piezometrik air tanah. Hasil analisis menunjukkan bahwa aliran air tanah bebas membentuk pola radial, yaitu dari arah bukit menuju laut di Teluk Latira. Muka air tanah bebas pada umumnya relatif dangkal, yaitu 0,3 m sampai 5 mbmt (meter 44 bawah muka tanah). Tinggi muka air tanah yang dangkal ditemukan di daerah dekat pantai, seperti di daerah Eti, dan Waemeteng Pantai.



Gambar 1. Peta Aliran Air Tanah Tidak Tertekan di Lokasi Penelitian

Aliran Air Tanah Semi Tertekan

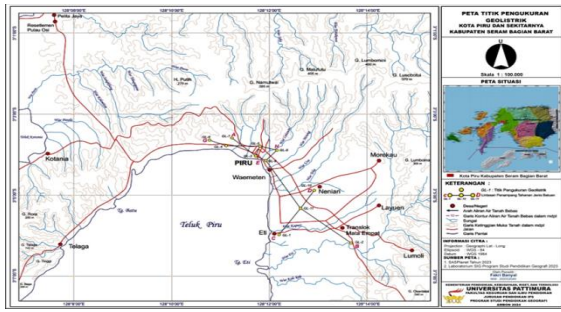
Analisis arah aliran air tanah semi tertekan dilakukan berdasarkan data pengukuran muka air tanah dari beberapa sumur bor. Pada beberapa tempat ditemukan muka air tanah yang positif (keluar sendiri tanpa di pompa) yang sering dijumpai di daerah Eti dan Waemeteng. Muka air tanah positif di daerah tersebut relatif tidak terlalu tinggi yaitu kurang lebih antara +0,5 m (Daerah Waemeteng) sampai +0,6 m (daerah Eti), semakin dekat pantai umumnya muka air tanah positif ini akan semakin tinggi, karena sesuai dengan muka piezometriknya. Berdasarkan data muka air tanah semi tertekan tersebut, dapat dilakukan analisis arah aliran air tanahnya. Analisis arah aliran air tanah semi tertekan juga menunjukkan arah aliran air tanah yang relatif radial, yaitu dari arah darat menuju ke laut.



Gambar 2. Peta Aliran Air Tanah Semi Tertekan di Lokasi Penelitian.

Hidrostratigrafi Akuifer

Analisa hidrostratigrafi akuifer didasarkan pada model stratigrafi yang dikorelasikan dengan kondisi geomorfologi dan geologi lokasi penelitian yang diperoleh dengan pendugaan geolistrik. Pendugaan geolistrik pada penelitian ini dilakukan sebanyak 14 (empat belas) titik. Pembuatan jalur pendugaan geolistrik (cross-section) memperhatikan aspek geologi dan geomorfologi, yang bertujuan agar jalur pendugaan tidak memotong lereng dan kondisi geologi yang berbeda.

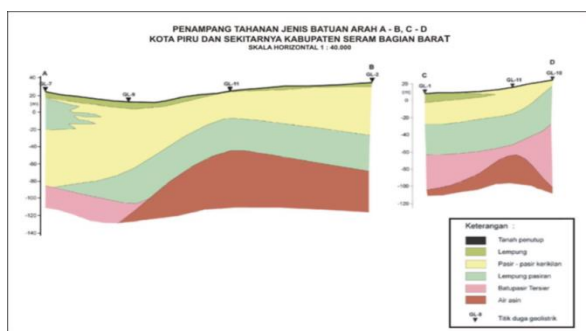


Gambar 3. Peta Pengukuran Titik Geolistrik di Lokasi Penelitian.

Konfigurasi Akuifer.

Konfigurasi akuifer meliputi penyebaran vertikal maupun horizontalnya, dianalisa berdasarkan data singkapan batuan, sumur gali, sumur bor, dan terutama berdasarkan pengukuran geolistrik. Berdasarkan data hasil pengukuran geolistrik dan analisis interpretasi penampang batuan, maka konfigurasi akuifer di lokasi penelitian dapat dibedakan menjadi 4 (empat) penampang batuan yaitu: A-B, C-D, E-F, dan G-H. Diagram pagar dari keempat penampang batuan tersebut adalah sebagai berikut:

- Penampang batuan A-B (GL.7-GL.9-GL.11-GL.2). Penampang batuan A-B berarah relatif Barat Laut – Tenggara dari daerah PIRU sampai ke Lokasi Translok, menggambarkan konfigurasi batuan sepanjang wilayah tersebut. Adapun konfigurasi batuan penampang A-B berdasarkan Tahanan Jenis dapat dilihat pada Gambar 4. Lapisan pertama merupakan tanah penutup, terdapat di bagian permukaan dengan ketebalan yang relatif tipis yaitu kurang lebih 3 meter.



Gambar 4. Penampang Tahanan Jenis Batuan Arah A-B dan C-D di Lokasi Penelitian.

Lapisan kedua merupakan lempung dengan nilai tahanan jenis 7-15 Ohm meter. Lapisan lempung ini tersebar di sekitar titik GL-7, sampai dengan GL-9 yang penyebarannya cukup luas dan diperkirakan dapat menjadi lapisan kedap air yang dapat menyebabkan kondisi air tanah tertekan. Lapisan ketiga merupakan pasir-kerikil (sirtu) yang merupakan hasil endapan alluvial dari sungai, yang belum mengalami proses pembatuan sehingga sangat baik sebagai akuifer. Lapisan yang diperkirakan sebagai akuifer ini memiliki nilai tahanan jenis antara 40 - 95ohm meter. Perbedaan nilai ini menggambarkan perbedaan ukuran butir akuifer, dimana akuifer yang berupa pasir memiliki nilai tahanan jenis yang kecil bila dibandingkan dengan akuifer yang berupa kerikil. Lapisan akuifer ini memiliki ketebalan yang sangat tinggi, mencapai lebih dari 80 meter.

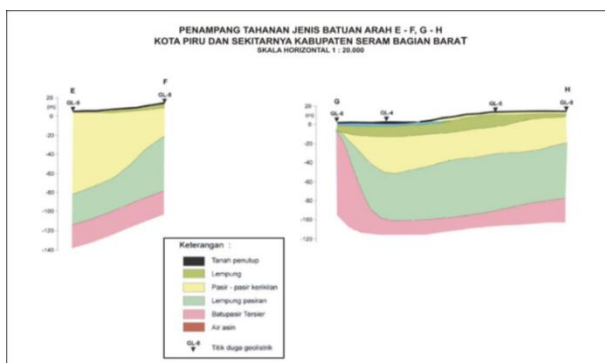
Ketebalan dari lapisan ini mencapai 40 meter. Lapisan berikutnya merupakan lapisan batuan yang diperkirakan berupa batupasir-konglomerat (tersier). Lapisan ini hanya terdapat di sekitar GL-7 dan GL-9, dengan nilai tahanan jenis batuan 75 Ohm meter. Lapisan terakhir yang diidentifikasi berupa akuifer dengan kandungan air asin keterdapatannya di bagian bawah GL-11 dan GL-2 dengan nilai tahanan jenis batuan antara 6-7 Ohm meter.

- Penampang batuan C-D (GL-1- GL.11 – GL.10). Penampang tanah C-D ini berarah relatif Utara-Selatan, dari daerah Eti sampai daerah Niniari. Adapun konfigurasi lapisan penampang C-D dapat dilihat pada gambar Penampang Tahanan Jenis Batuan Arah C-D seperti pada gambar. Lapisan pertama merupakan tanah penutup, yang terdapat pada bagian permukaan. Lapisan kedua berupa pasir-kerikil (sirtu) yang adalah merupakan hasil endapan alluvial dari sungai dan belum mengalami proses pembatuan sehingga sangat baik sebagai akuifer. Lapisan yang diperkirakan sebagai akuifer ini memiliki nilai tahanan jenis antara 50-90 ohm meter. Lapisan akuifer ini memiliki ketebalan yang sangat tinggi yakni dapat mencapai lebih dari 30 meter.

dengan ketebalan yang relatif tipis yaitu kurang dari 3 meter.

Lapisan ketiga merupakan lempung dengan nilai tahanan jenis 7-15 ohm meter. Lapisan lempung ini tersebar di sekitar titik GL-1, yang penyebarannya cukup luas dan diperkirakan dapat menjadi lapisan kedap air yang dapat menyebabkan kondisi air tanah tertekan. Lapisan keempat berupa pasir-kerikil (sirtu) yang adalah merupakan hasil endapan alluvial dari sungai dan belum mengalami proses pembatuan sehingga sangat baik sebagai akuifer. Lapisan yang diperkirakan sebagai akuifer ini memiliki nilai tahanan jenis antara 95-98 ohm meter. Pada titik pengukuran geolistrik GL-11 terdapat lapisan batupasir-konglomerat (tersier) yang mengandung air asin dimana keterdapatannya sekitar 70 meter dari permukaan tanah dan semakin menurun ke kedua arah menuju titik pengukuran GL-1 dan GL-10 sudah mencapai kurang lebih 100 meter dari permukaan tanah.

- c. Penampang batuan E-F (GL-9 dan GL-8). Penampang batuan E-F ini relatif berarah Barat Daya – Tenggara, dari daerah Waimeteng Darat ke Waimeteng Pantai. Konfigurasi lapisan tanah Penampang Tahanan Jenis Batuan Arah E-F dapat dilihat pada Gambar 5. Lapisan pertama merupakan tanah penutup, yang terdapat pada bagian permukaan dengan ketebalan yang relatif tipis, yaitu kurang dari 3 meter.



Gambar 5. Penampang Tahanan Jenis Batuan Arah E-F dan G-H di Lokasi Penelitian.

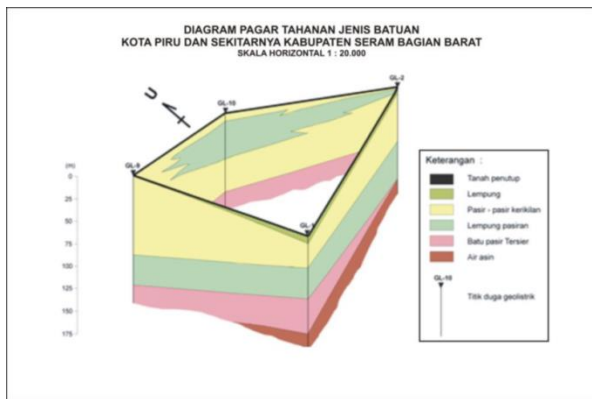
Lapisan kedua berupa lempung, dengan nilai tahanan jenis kurang dari 10 ohm meter, dengan ketebalan mencapai kurang

lebih 8 meter, dan cenderung menipis ke arah pantai (GL-9). Lapisan ketiga berupa pasir-kerakal, hasil endapan alluvial dari sungai, yang belum mengalami proses pembatuan sehingga sangat baik sebagai akuifer. Lapisan yang diperkirakan sebagai akuifer ini memiliki tahanan jenis antara 50-95 ohm meter. Lapisan akuifer ini memiliki ketebalan yang sangat tinggi, mencapai kurang lebih 80 meter di titik pengukuran GL-9 dan cenderung menipis ke arah titik pengukuran GL-8 dengan ketebalan kurang lebih 30 meter. Lapisan ini diperkirakan dapat berperan sebagai akuifer namun dengan produktifitas yang kecil, mengingat ukuran butirnya yang lebih kecil sehingga juga menghasilkan ukuran pori yang kecil. Di bawah lapisan lanau terdapat lapisan batupasir-konglomerat (tersier), dengan nilai tahanan jenis 75 ohm meter dengan kedalaman mencapai lebih dari 100 meter dari permukaan tanah, dan sampai kedalaman ini belum dijumpai adanya lapisan tanah yang mengandung air asin.

- d. Penampang Batuan G-H (GL-6, GL-4, GL-5, dan GL-8). Penampang Batuan G-H ini relatif berarah Barat-Timur, yaitu menghubungkan titik pengukuran GL-6, GL-4, GL-5, dan GL-8. Lapisan pertama merupakan tanah penutup yang terdapat pada bagian permukaan dengan ketebalan yang relatif tipis yaitu antara 0,5 – 3 meter. Lapisan berikutnya terdapat Batugamping yang tersebar tipis di titik pengukuran GL-6 dan GL-4 di sekitar pelabuhan Hatu yang memanjang searah garis pantai, dengan ketebalan kurang lebih 5 meter. Nilai tahanan jenis batuanya kurang lebih 25 ohm meter. Lapisan yang diperkirakan sebagai akuifer ini memiliki tahanan jenis antara 50-95 ohm meter. Lapisan akuifer ini memiliki ketebalan yang sangat tinggi mencapai kurang lebih 50 meter di titik pengukuran GL4. Selanjutnya dibawah lapisan lempung terdapat lapisan lanau (lempung berpasir) yang tersebar dari titik pengukuran GL-4 dan memanjang sampai ke GL-8, dengan ketebalan mencapai 10 meter.

Lapisan paling bawah yang sempat dideteksi dalam pengukuran ini adalah

lapisan batupasir konglomerat (tersier), dengan nilai tahanan jenis 70-90 ohm meter. Untuk lebih dapat menggambarkan konfigurasi batuan di lokasi penelitian tersebut, maka dibuat diagram pagar penampang lapisan yang meliputi beberapa titik pengukuran geolistrik yakni titik GL.1.-GL.2.-GL.10-GL.9 yang terbentang dari daerah Eti, Translok, Niniari, dan Waimeteng. Diagram pagar penampang lapisan di lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 6. Lapisan pasir-kerikil/kerakal tersebut memiliki hubungan menjemari dengan lanau dan lempung. Lanau sedikit berperan sebagai akuifer karena ukuran butirnya yang relatif halus.



Gambar 6. Diagram Pagar Tahanan Jenis Batuan di Lokasi Penelitian.

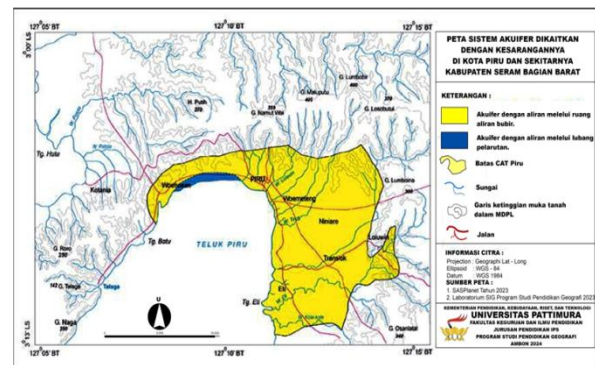
Berdasarkan jenis batuan dan kesearangannya yang diperoleh dari data hasil penelitian dan peta geologi maka sistem akuifer di lokasi penelitian dapat dikelompokkan menjadi 2 (dua) yaitu:

- Akuifer dengan aliran melalui ruang antar butir. Sistem akuifer ini tersusun oleh rombakan batuan hasil endapan alluvial sungai (Qa) dan batupasir-konglomerat dari formasi Fufa (TQf). Endapan alluvial terdiri dari lempung, kerikil, dan kerakal; yang diperkirakan memiliki produktifitas akuifer tinggi atau kemampuan menyimpan air yang sangat baik.
- Akuifer dengan aliran melalui lubang pelarutan. Hasil analisis penampang batuan terdapat 2 (dua) sistem akuifer di lokasi penelitian, yang secara umum bisa dikatakan merupakan satu sistem akuifer

bebas, namun oleh adanya keberadaan lapisan-lapisan tipis lempung membuat di beberapa lokasi terdapat sistem akuifer semi tertekan, sehingga dapat disimpulkan bahwa sistem akuifer yang terdapat di daerah ini berdasarkan hasil analisis penampang batuan ada 2 (dua) yaitu sistem akuifer tidak tertekan (bebas) dan sistem akuifer semi tertekan.

a) Sistem Akuifer Tidak Tertekan (Bebas).

Akuifer tidak tertekan merupakan lapisan batuan pembawa air yang pada lapisan atasnya tidak ditutupi oleh lapisan kedap air. Lapisan akuifer ini berhubungan langsung dengan udara bebas, sehingga memiliki tekanan yang sama dengan tekanan atmosfer.



Gambar 7. Peta Sistem Akuifer Dikaitkan dengan Kesearangannya di Lokasi Penelitian.

Sistem akuifer bebas di lokasi penelitian terbentuk oleh pasir-kerikil/kerakal hasil endapan alluvial dan terdapat sedikit akuifer batugamping. Kedudukan bagian atas akuifer bebas ini relatif dangkal, yaitu antara kurang lebih 0,3 mbmt di daerah Piru, Eti dan sekitarnya sampai 5 mbmt di dusun kilosatu. Kedudukan bagian bawah akuifer bebas berdasarkan hasil pengukuran geolistrik dan pengamatan sumur, pada daerah yang terdapat akuifer semi tertekan berada pada kedalaman yang relatif dangkal yaitu kurang lebih 10 mbmt sedangkan pada daerah yang tidak terdapat akuifer semi tertekan keberadaan bagian bawah akuifer bebas sampai pada kedalaman 100 mbmt.

b) Sistem Akuifer Semi Tertekan.

Akuifer semi tertekan merupakan lapisan batuan pembawa air yang pada bagian atasnya ditutupi oleh lapisan yang sedikit dapat melewatkan air tanah. Lapisan akuifer memiliki tekanan yang sedikit lebih tinggi dibandingkan tekanan atmosfer, sehingga kedudukan muka air tanahnya akan lebih tinggi dari bagian atas lapisan akuifernya. Penyebaran keberadaan akuifer semi tertekan ini yaitu mulai dari daerah Waemeteng memanjang ke arah Selatan sampai di daerah Eti. Adapun kedudukan bagian bawah lapisan akuifer semi tertekan ini kurang lebih antara 40 mbmt (daerah Waemeteng Darat) sampai lebih dari 120 mbmt di dusun Mata Empat.

Parameter Akuifer.

Untuk perhitungan parameter akuifer radius pengaruh (r_o) dalam kegiatan ini tidak bisa dilakukan, mengingat tidak tersedianya sumur pengamat dari suatu sumur produksi, dimana untuk mengetahui radius pengaruh (r_o) harus melaksanakan pengukuran surutan (drawdown) pada minimal 2 sumur pengamat dari satu sumur produksi. Berdasarkan data yang diperoleh, maka dapat dilakukan perhitungan parameter akuifer bebas dan akuifer semi tertekan terdiri dari:

1. Akuifer Tidak Tertekan (Bebas). Perhitungan parameter akuifer tidak tertekan/bebas dilakukan dengan menggunakan data hasil analisa uji pemompaan yang dilakukan pada akuifer bebas SG-1 (Waemeteng), dan nilai konduktifitas hidrolika (K) yang dihasilkan dari software Aquatest yaitu $K = 1,99 \times 10^{-3} \text{ m menit}^{-1} = 3,316 \times 10^{-5} \text{ m det}^{-1}$.
2. Akuifer Bebas Pasir-Kerikil (SG-1, Waimeteng). Akuifer bebas dari daerah ini memiliki ketebalan kurang lebih 50 meter, sehingga nilai transmisivitas (T) = $(3,316 \times 10^{-5}) \times 50 = 1,65 \times 10^{-3} \text{ m}^2 \text{ det}^{-1}$. Perhitungan debit jenis (Q_s) dengan menggunakan formula logan, sebagai berikut: $Q_s = T/1,22 = 1,65 \times 10^{-3} / 1,22 = 1,35 \times 10^{-3} \text{ m}^3 \text{ det}^{-1} \text{ m}^{-1}$. Nilai debit jenis ini artinya dalam setiap penurunan air tanah 1 meter, maka dapat dihasilkan debit pemompaan 1,35 L det⁻¹. Debit optimum (Q_{opt}) dari akuifer bebas ini dihitung dengan menggunakan ketebalan akuifer 50 meter, sehingga nilai

surutan optimum (S_{opt}) = $2/3 \times 50 \text{ m} = 33,3 \text{ m}$. $Q_{opt} = Q_s \times S_{opt} = (1,35 \times 10^{-3}) \text{ m}^2 \text{ det}^{-1} \times 33,3 \text{ m} = 0,045 \text{ m}^3 \text{ det}^{-1} = 45 \text{ L det}^{-1}$.

3. Akuifer Bebas Batugamping. Akuifer bebas di daerah ini memiliki ketebalan kurang lebih 15 meter, sehingga nilai transmisivitas (T) = $(1,08 \times 10^{-5}) \times 15 = 1,62 \times 10^{-4} \text{ m}^2 \text{ det}^{-1}$. Perhitungan debit jenis (Q_s) dengan menggunakan formula logan, sebagai berikut: $Q_s = T/1,22 = 1,62 \times 10^{-4} / 1,22 = 1,28 \times 10^{-4} \text{ m}^2 \text{ det}^{-1} \text{ m}^{-1}$. Nilai debit jenis ini artinya dalam setiap penurunan air tanah 1 meter, maka dapat dihasilkan debit pemompaan 0,1328 L det⁻¹. Debit optimum (Q_{opt}) dari akuifer bebas ini dihitung dengan menggunakan ketebalan akuifer 15 meter, sehingga nilai surutan optimum (S_{opt}) = $2/3 \times 15 \text{ m} = 5 \text{ m}$. $Q_{opt} = Q_s \times S_{opt} = (1,328 \times 10^{-4}) \text{ m}^2 \text{ det}^{-1} \times 5 \text{ m} = 6,64 \times 10^{-4} \text{ m}^3 \text{ det}^{-1} = 0,664 \text{ L det}^{-1}$.
4. Akuifer Bebas Batupasir Konglomerat. Akuifer bebas di daerah ini memiliki ketebalan kurang lebih 20 meter, sehingga nilai transmisivitasnya (T) = $(2,314 \times 10^{-6}) \times 20 = 4,63 \times 10^{-5} \text{ m}^2 \text{ det}^{-1}$. Perhitungan debit jenis (Q_s) dengan menggunakan formula Logan, sebagai berikut: $Q_s = T/1,22 = 4,63 \times 10^{-5} / 1,22 = 3,79 \times 10^{-5} \text{ m}^2 \text{ det}^{-1} \text{ m}^{-1}$. Nilai debit jenis ini artinya dalam setiap penurunan air tanah 1 meter, maka dapat dihasilkan debit pemompaan 0,0379 L det⁻¹. Debit optimum (Q_{opt}) dari akuifer bebas ini dihitung dengan menggunakan ketebalan akuifer 20 meter, sehingga nilai surutan optimum (S_{opt}) = $2/3 \times 20 \text{ m} = 13,3 \text{ m}$. $Q_{opt} = Q_s \times S_{opt} = (3,79 \times 10^{-5}) \text{ m}^2 \text{ det}^{-1} \times 13,3 \text{ m} = 5,05 \times 10^{-4} \text{ m}^3 \text{ det}^{-1} = 0,505 \text{ L det}^{-1}$.
5. Akuifer Semi Tertekan. Hasil uji pemompaan yang dilakukan pada akuifer semi tertekan yang berupa pasir pada SB-2 di daerah Piru, dan telah dilakukan analisis nilai transmisivitas (T) dengan menggunakan software Aquatest menunjukkan nilai $T = 2,29 \times 10^{-1} \text{ m}^2 \text{ menit}^{-1} = 3,82 \times 10^{-3} \text{ m det}^{-1}$.

Berdasarkan nilai transmisivitas (T) tersebut, dilakukan penghitungan debit jenis

(Q_s) dengan menggunakan formula Logan, sebagai berikut: $Q_s = T/1,22 = 3,82 \times 10^{-3} / 1,22 = 3,13 \times 10^{-3} \text{ m}^2 \text{ dtk}^{-1} = 3,13 \text{ L det}^{-1} \text{ m}^{-1}$.

Nilai debit jenis ini artinya dalam setiap penurunan air tanah 1 meter, maka dapat dihasilkan debit pemompaan $3,13 \text{ L det}^{-1}$. Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, penghitungan debit optimum (Q_{opt}) untuk akuifer semi tertekan ini, digunakan surutan optimum (S_{opt}) dari muka air tanah akuifer tertekan sampai bagian atas akuifer tertekan.

Di daerah Waemeteng muka air tanah akuifer semi tertekan mencapai (positif) + 0,5 meter di atas muka tanah dengan bagian atas akuifer berada pada kedalaman 8 mbmt, sehingga surutan optimumnya (S_{opt}) = 8,5 m; sehingga debit optimum (Q_{opt}) = $Q_s \times S_{opt} = (3,13 \times 10^{-3}) \text{ m}^2 \cdot \text{det}^{-1} \times 8,5 = 26,61 \times 10^{-3} \text{ m}^3 \cdot \text{dtk}^{-1} = 26,6 \text{ L det}^{-1}$. Adapun untuk daerah Eti, muka air tanah akuifer semi tertekan mencapai (positif) + 0,62 meter di atas muka tanah dengan bagian atas akuifer berada pada kedalaman 10 mbmt, sehingga surutan optimumnya (S_{opt}) = $Q_s \times S_{opt} = (3,13 \times 10^{-3}) \text{ m}^2 \cdot \text{det}^{-1} \times 10,62 \text{ m} = 33,24 \times 10^{-3} \text{ m}^3 \cdot \text{det}^{-1} = 33,24 \text{ L det}^{-1}$.

Air tanah dalam tidak memperhitungkan simpanan air tanahnya (groundwater storage), hal ini untuk menghindari terjadinya pengambilan air tanah yang berlebihan, sehingga ketersediaan air tanah dapat terjaga terus-menerus. Penghitungan kuantitas air tanah di lokasi penelitian dapat diuraikan sebagai berikut:

a. Akuifer Tidak Tertekan (Bebas). Wilayah lokasi penelitian ini terutama tersusun oleh endapan alluvial dan batupasir konglomerat (Formasi fufa), dengan morfologi yang datar pada endapan alluvial dan morfologi berbukit landai pada batuan formasi fufa, sehingga ditentukan koefisien imbuhan adalah antara 0,15 sampai 0,35. Hasil penghitungan menunjukkan bahwa volume air tanah bebas yang berasal dari imbuhan tahunan adalah $25,02 \times 10^6 \text{ m}^3 \cdot \text{thn}^{-1}$, sehingga pengambilan air tanah bebas di lokasi penelitian ini tidak boleh melebihi jumlah tersebut agar dapat menjaga kelestarian air tanahnya.

b. Akuifer Tertekan. Perhitungan aliran air tanah dari daerah imbuhan ke daerah lepasan air tanah akan dilakukan dengan menggunakan formula Darcy, dimana aliran air tanah tertekan dari daerah imbuhan ke daerah lepasannya dibagi menjadi 4 (empat) segmen aliran, yaitu Q_1 sampai Q_4 . Formula Darcy yang digunakan adalah sebagai berikut: $Q = T \cdot i \cdot L$

Keterangan:

Q: Jumlah aliran air tanah. 59

T: Keterusan akuifer (m^2/hari).

i: Landaian hidrolika.

L: Lebar penampang setiap segmen (m).

Berdasarkan hasil perhitungan kuantitas/jumlah aliran air tanah semi tertekan di atas, maka diperoleh jumlah aliran air tanah semi tertekan di lokasi penelitian adalah sebanyak $42.446,44 \text{ m}^3 \cdot \text{hari}^{-1}$ atau sama dengan $15.492 \times 10^6 \text{ m}^3 \cdot \text{thn}^{-1}$. Setiap contoh air tanah yang diambil dilakukan pengujian laboratorium untuk dapat diketahui sifat fisik dan kimia air tanah, yang meliputi kekeruhan, warna, bau, rasa, DHL, pH, kesadahan, konsentrasi unsur/senyawa kimia air tanah (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{3+} , Mn^{2+} , K^+ , Na^+ , Li^+ , NH_4^+ , CO_3^{2-} , HCO_3^- , CO_2 , Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^- , SiO_2 , dan TDS). Hasil pengujian laboratorium terhadap sample air tanah tersebut dapat dilihat pada Lampiran 4.

a). Tipe/Fasies Air Tanah.

Air tanah memiliki komponen – komponen kation dan anion yang konsentrasinya beragam, namun secara alami konsentrasi kation dan anion air tanah bersifat setimbang, yaitu total nilai ekuivalen (equivalent parts per million = epm) kation setimbang dengan total nilai ekuivalennya (total meq kation \square total meq anion). Nilai meq ion itulah yang nantinya akan diplotkan ke dalam diagram Stiff dan diagram piper.

1) Diagram Stiff.

Berdasarkan analisis tipe air tanah yang dilakukan dengan menggunakan Diagram Stiff. Contoh air tanah yang dianalisis dari lokasi penelitian ini terbagi menjadi 4 (empat) kelompok air tanah yaitu :

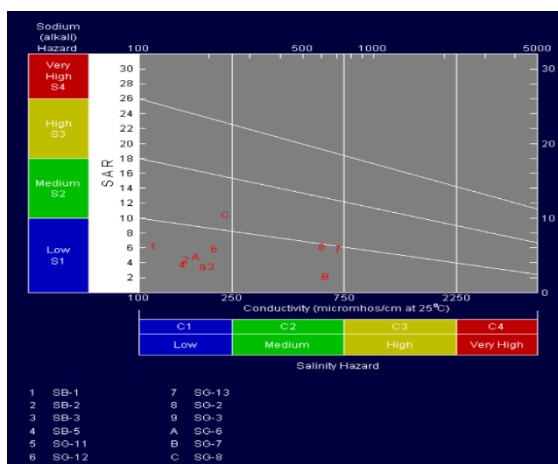
a. Tipe air tanah Magnesium-Bikarbonat (Contoh air tanah dari SG-12, SG-13, dan SG-11).

- b. Tipe air tanah Kalsium-Bikarbonat (ontah air tanah dari SG-2, SB-3, SB-2, SB-5, SG-7, SG-6, dan SG-3).
 - c. Tipe air tanah Potasium-Bikarbonat (Contoh air tanah dari SB-1).
 - d. Tipe air tanah Magnesium Potasium-Bikarbonat (Contoh air tanah dari SG-8).
- 2) Diagram Piper.

Diagram piper merupakan diagram yang terdiri dari dua segitiga sama sisi yang terletak di bawah satu bentuk prisma/jajaran genjang, dimana segitiga di sisi bawah sebelah kiri digunakan untuk mengplotkan kation sedangkan segitiga di sisi bawah sebelah kanan digunakan untuk mengplotkan anion. Hal ini dimungkinkan mengingat di dalam perjalanannya air tanah akan bereaksi dengan batuan yang dilewatinya, sehingga sifat kimia air tanah akan mencerminkan akuifer/batuan yang dilewatinya.

Analisis fasies air tanah yang dilakukan dengan menggunakan Diagram Piper menunjukkan air tanah di lokasi penelitian ini termasuk ke dalam 2 (dua) kelompok fasies utama air tanah yaitu:

- a. Magnesium Kalsium-Bikarbonat. Yang termasuk kedalam fasies air tanah ini adalah sample air tanah dari hampir seluruh contoh air tanah yang dianalisis dari lokasi penelitian, kecuali sumur pada titik SG-8.
- b. Sodium Potasium-Bikarbonat. Yang termasuk kedalam fasies air tanah ini adalah sample air tanah dari SG-8 di Dusun Kilosatu desa Piru.



Gambar 8. Diagram Wilcox Percontoh Air Tanah di Lokasi Penelitian.

Pembahasan

Deskripsi wilayah sebaran air tanah ini menggambarkan karakteristik geologis dan hidrogeologis yang penting untuk pemahaman potensi air tanah di lokasi penelitian. Wilayah tersebut membentang memanjang di bagian atas, mencakup daerah perbukitan landai di Utara dan sebagian kecil daerah pantai di Barat. Ketinggian elevasi potensi air tanah bervariasi dari 0 hingga kurang lebih 150 meter di atas permukaan laut. Akuifer di wilayah ini terutama terdiri dari batupasir-konglomerat (Formasi Fufa) dengan sedikit kandungan batugamping. Muka air tanah diperkirakan memiliki variasi yang signifikan, dangkal di daerah dekat pantai dan lebih dalam di daerah perbukitan.

Ketebalan akuifer bebas relatif bervariasi antara 5 hingga 80 meter, menunjukkan tingkat keragaman yang substansial. Parameter akuifer bebas, yang diukur melalui uji pemompaan, memberikan gambaran nilai transmisivitas (T) berkisar antara $1,62 \times 10^{-4}$ hingga $4,63 \times 10^{-5}$ m.det⁻¹. Debit jenis (Qs) berkisar antara 0,0379 hingga 0,1328 L det⁻¹.m⁻¹, sementara debit optimum (Qopt) berkisar antara 0,505 hingga 0,664 L det⁻¹. Data ini memberikan dasar yang kuat untuk penelitian lebih lanjut terkait pengelolaan sumber daya air tanah di wilayah ini, membantu identifikasi potensi keberlanjutan dan optimalisasi pemanfaatan air tanah di berbagai sektor.

Kebutuhan Air Bersih Penduduk

Prediksi kebutuhan air bersih penduduk di desa-desa sekitar lokasi penelitian, seperti Morekao, Eti, Lumoly, Piru, dan Niniary, menunjukkan fokus pada potensi pemanfaatan air tanah. Jumlah penduduk Piru dan sekitarnya pada tahun 2023, berdasarkan data Badan Catatan Sipil dan Kependudukan Kabupaten Seram Bagian Barat, mencapai 14.333 jiwa dengan 3.411 kepala keluarga dan pertumbuhan penduduk sekitar 5,72%. Dengan mengasumsikan kebutuhan air bersih rata-rata sebesar 100 liter per orang per hari, prediksi kebutuhan air bersih dapat dihitung. Hasilnya kemudian dibandingkan dengan potensi kuantitas air tanah yang ditemukan di akuifer bebas dan akuifer semi tertekan di

lokasi penelitian, yakni sekitar $40,512 \times 10^6 \text{ m}^3$ per tahun.

Dari perbandingan tersebut, dapat disimpulkan bahwa potensi air tanah yang ada masih cukup melimpah untuk memenuhi kebutuhan air bersih penduduk hingga 10 tahun ke depan. Ini menunjukkan keberlanjutan dan ketersediaan sumber daya air yang memadai untuk mendukung pertumbuhan penduduk di wilayah tersebut. Langkah-langkah pengelolaan dan pemantauan yang berkelanjutan tetap penting untuk memastikan pemanfaatan air tanah yang optimal dan berkelanjutan di masa depan.

Arah Pemanfaatan Air Tanah

Pemanfaatan air tanah di daerah penelitian mengacu pada karakteristik akuifer tertekan, karakteristik akuifer bebas dan karakteristik hidrogeokimia air tanah. Berdasarkan pengamatan secara geomorfologi daerah penelitian terbagi menjadi 2 (dua) satuan bentuk lahan yaitu satuan bentuk lahan dataran alluvial dan satuan bentuk lahan perbukitan landai. Hasil perhitungan potensi air tanah di daerah penelitian yang didasarkan analisa parameter akuifer diperoleh 3 (tiga) kondisi potensi air tanah yaitu (1) potensi air tanah tinggi pada akuifer bebas dan akuifer semi tertekan, (2) potensi air tanah tinggi pada akuifer bebas dan nihil pada akuifer tertekan, dan (3) potensi air tanah rendah pada akuifer bebas dan nihil pada akuifer tertekan.

Pada dataran alluvial memiliki potensi air tanah yang tinggi baik pada akuifer bebas maupun semi tertekan yang ditemuklan sejajar garis pantai, dan potensi air tanah tinggi hanya untuk akuifer bebas berada pada bagian wilayah yang agak mendekati perbukitan, sedangkan pada wilayah perbukitan landai memiliki potensi air tanah yang rendah dalam kondisi akuifer bebas. Karakteristik hidrogeokimia pada lokasi penelitian tergolong dalam 2 (dua) fasies yang dikaitkan dengan hasil analisis air tanah dengan menggunakan diagram piper, yakni Magnesium Kalsium – Bikarbonat yang mendominasi sebagian besar daerah penelitian dan terdapat faises Sodium

Potassium – Bikarbonat di daerah dusun Kilo Satu Piru.

Pada daerah dataran alluvial yang berekatan dengan perbukitan landai, maupun daerah perbukitan landai, perlu dijadikan zona konservasi karena daerah ini merupakan daerah imbuh (zona tangkapan, dan resapan air hujan) sebagai penunjang potensi air tanah pada lokasi penelitian. Dengan demikian berdasarkan arahan dan zonasi tataguna air tanah daerah penelitian termasuk daerah zona I yaitu daerah yang memiliki potensial penurapan air tanah tinggi yang terdapat di daerah dataran dan zona penurapan III yaitu daerah yang memiliki potensi penurapan air tanah rendah yang terdapat di daerah perbukitan landai.

KESIMPULAN

Secara geomorfologis, lokasi penelitian terletak di dataran rendah sepanjang pesisir Teluk Latira dengan luas sekitar 58,34 km². Morfologi yang relatif homogen di wilayah ini memberikan suhu udara yang seragam, berkisar antara 24,5°C hingga 28,3°C. Dalam konteks hidrogeologi, lokasi penelitian dapat dibagi menjadi dua mandala air tanah, yaitu dataran dan perbukitan. Sistem akuifer melibatkan litologi seperti alluvial, batuan formasi Fufa, satuan Tektonik Uli, dan batu gamping.

Geologi dan geomorfologi wilayah Kota Piru didasarkan pada Peta Geologi Kota Piru, dengan beragam formasi batuan seperti Alluvial, Formasi Fufa, Satuan Tektonik Uli, Formasi Saku, dan Komplek Tehoru. Kondisi geomorfologi dapat dibedakan menjadi dataran alluvial dan perbukitan landai. Penggunaan lahan mencakup permukiman, tegalan, hutan sagu, dusun (tradisional agroforestry), hutan sekunder, dan lahan kritis, dengan variasi jenis tanah termasuk Litosol, Regosol, Gleisol, Aluvial, Rensina, Kambisol, dan Podsolik.

Kondisi kependudukan di Kabupaten Seram Bagian Barat tidak merata, dengan sebagian besar konsentrasi di Kecamatan Seram Barat. Mayoritas penduduk menggantungkan mata pencarian pada sektor pertanian dan perikanan. Aliran air tanah tidak tertekan menunjukkan pola radial dari bukit ke laut di Teluk Latira, sementara aliran

air tanah semi tertekan juga menunjukkan arah aliran yang relatif radial dari darat ke laut. Analisis hidrostratigrafi dengan menggunakan pengukuran geolistrik membedakan konfigurasi akuifer menjadi beberapa penampang batuan, melibatkan lapisan tanah penutup, lempung, pasir-kerikil sebagai akuifer, dan lapisan batuan dengan keberadaan beberapa akuifer asin. Keseluruhan, pemahaman mendalam mengenai kondisi geologi, geomorfologi, hidrogeologi, penggunaan lahan, kondisi kependudukan, aliran air tanah, hidrostratigrafi, dan konfigurasi akuifer sangat penting dalam perencanaan dan pengelolaan sumber daya air di wilayah Kota Piru dan sekitarnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad Nur Kholis, Mrabawani Insan Rendra. 2022. "Potensi Resapan Air Tanah Di Kabupaten Bojonegoro Dengan Pendekatan GIS." *Jurnal Perasaban Sains, Rekayasa dan Teknologi* 10(2): 222–33.
- Anindya D.P, E Suhartanto dan JS Fidari. 2022. Perbandingan Metode Alih Ragam Hujan Menjadi Debit dengan FJ. Mock dan NRECA di DAS Welang Kabupaten Pasuruan. *Jurnal Teknologi dan Rekayasa Sumber Daya Air* 2(2):286-299.
- Annisa D.W dan S Prijono. 2023. Analisis Konduktivitas Hidrolik Jenuh Tanah pada Berbagai Jenis Naungan di Lahan Kopi Rakyat Kecamatan Sumbermanjing Wetan. *Jurnal Tanah dan Sumberdaya Lahan* 10(1):15-24.
- Aryadi Nurfalaq, Iin Karmila Putri, Rahma Hi. Manrulu. 2020. "Pemetaan Akuifer Air Tanah Kota Palopo Provinsi Sulawesi Selatan Menggunakan Metode Geolistrik." 4(2): 70–78.
- Farhan Senoaji, Surya Budi Lesmana. 2021. "Analisis Pola Sebaran Kualitas Air Sumur Di Kawasan TPST Piyungan." *Jurnal Semesta Teknika* 24(1): 62–68. <https://journal.umy.ac.id/index.php/st/article/view/13001/6861>.
- Ferdinand Salomo Leuwol, Basiran, Moh. Solehuddin, Antonius Rino Vanchapo, Dewi Sartipa, Eny Munisah. 2023. "Efektivitas Metode Pembelajaran Berbasis Teknologi Terhadap Peningkatan Motivasi Belajar Siswa Di Sekolah." *Edusaintek: Jurnal Pendidikan, Sains dan Teknologi* 10(3): 988–99
- Hidayat Y, W Purwakusuma, ED Wahjunie, DPT Baskoro, LM Rachman, SM Yusuf, RM Adawiyah, I Syaepudin, MMR Sirega, DA Isnaini. 2022. Characteristics of soil hydraulic conductivity in natural forest, agricultural land, and green open space area. *Journal of Natural Resources and Environmental Management* 12(2): 352-362.
- Kustiyaningsih, Elisa dan Rony Irawanto., 2020. Pengukuran Total Dissolved Solid (TDS) Dalam Fitoremediasi Deterjen Dengan Tumbuhan. *Jurnal Tanah dan Sumberdaya Lahan* Vol 7 No 1: 143-148, 2020.
- Ossai, I.C. et al 2019. Remediation of soil and water contaminated with petroleum hydrocarbon: A review. *Environmental Technology & Innovation* (2019), doi: <https://doi.org/10.1016/j.eti.2019.100526>.
- Putranto, Thomas T dkk. 2019. Studi Kerentanan Air bawah tanah Terhadap Pencemaran dengan Menggunakan Metode Drastic Pada Cekungan Air bawah tanah (CAT) Karanganyar-Boyolali, Provinsi Jawa Tengah. *Jurnal Ilmu Lingkungan* Vol. 17 (1): 158-171, ISSN 1829-8907.
- Purnama, S, 2019. Ketersediaan dan kualitas Airtanah pada Akuifer Tidak Tertekan di Kecamatan Jawilan dan Kopo, Kabupaten Serang. *Geografi Indonesia* , 16-25.
- Sari, Yesi Anita. 2022. "Pemetaan Sebaran Daerah Rawan Kekeringan Menggunakan Citra Landsat 8 Oli / Tirs Di Kabupaten Banyuwangi." *Jurnal Pendidikan Geografi Undiksha* 10(3): 233–42.
- Sutikno, D. (2023). Ketersediaan Air dan Dampaknya terhadap Kehidupan. Malang: Universitas Negeri Malang.