



Analisis Kuantitas dan Kualitas Air di Wilayah Kota Piru Kabupaten Seram Bagian Barat

Analysis of the Quantity and Quality of Water in the Piru City Area, Seram Bagian Barat Regency

Frengki Gudam¹, Roberth Berthy Riry¹, Wiclif Sephnath Pinoa¹

¹Program Studi Pendidikan Geografi, Universitas Pattimura

Article Info	ABSTRAK
Kata Kunci: Analisis, Kuantitas Air, Kualitas Air	Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi potensi kualitas dan kuantitas air tanah di Kota Piru dan sekitarnya. Metode survey dengan analisis data primer dan sekunder, termasuk citra satelit, peta tematik, dan observasi lapangan, digunakan dalam penelitian ini. Temuan utama meliputi: (1) Potensi kuantitas air tanah di lokasi penelitian mencapai sekitar $40,512 \times 10^6 \text{ m}^3\text{tahun}^{-1}$, mendukung kebutuhan air bersih hingga tahun 2020. (2) Kualitas air tanah varian, dengan sebagian tidak layak konsumsi, terutama di pantai Waetemen (tinggi Fe) dan kompleks Markas (rendah pH). Namun, kualitas air tetap memadai untuk pertanian, dibagi menjadi tiga kelompok dengan risiko alkalinitas dan kegaraman berbeda. (3) Berdasarkan potensi air tanah, direkomendasikan pemanfaatan untuk air minum, pengembangan pemukiman, dan pertanian, terutama di dataran aluvial dengan potensi tinggi pada akuifer bebas. Zona konservasi sebaiknya diterapkan di daerah perbukitan landai. Kesimpulannya, penelitian ini memberikan wawasan penting untuk pengelolaan air tanah dan pembangunan wilayah, terutama mengingat pertumbuhan penduduk yang cepat.
Submitted: 2024-01-23 Revised: 2024-01-16 Accepted: 2024-03-19 Published: 2024-04-31	ABSTRACT <i>This research aims to assess the potential quality and quantity of groundwater in Piru City and its surrounding areas. The survey method involving primary and secondary data analysis was employed, including satellite imagery, thematic maps, and field observations. The key findings are as follows: (1) The potential quantity of groundwater in the research location is approximately $40,512 \times 10^6 \text{ m}^3\text{year}^{-1}$, supporting the demand for clean water until 2020. (2) The quality of groundwater varies, with some portions deemed unsuitable for consumption, particularly in the Waetemen coastal area (high Fe) and Markas complex (low pH). However, the overall water quality remains suitable for agricultural purposes, and it is categorized into three groups with different risks of alkalinity and salinity. (3) Based on the groundwater potential, recommendations include utilization for drinking water, urban development, and agriculture, especially in alluvial plains with high potential in the unconfined aquifer. Conservation zones should be implemented in gently sloping hill areas. In conclusion, this research provides crucial insights for groundwater management and regional development, particularly considering the rapid population growth.</i>
Keywords: <i>Analysis, Water Quantity, Water Quality</i>	

***Corresponding Author:**

Roberth Berthy Riry

Program Studi Pendidikan Geografi Jurusan IPS FKIP Unpatti

Jl. Ir. M. Putuhena Poka Ambon

E-mail: riry.berthy@gmail.com

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

Panduan Sitasi: Gudam, F., Riry, R.B., Pinoa, W.S. (2024). Analisis Kuantitas Dan Kualitas Air Di Wilayah Kota Piru Kabupaten Seram Bagian Barat. *Jurnal Jendela Pengetahuan*. 17(1), 96-112. <https://doi.org/10.30598/jp17iss1pp96-112>

PENDAHULUAN

Air tanah adalah air yang terdapat di dalam tanah, dibagi menjadi dua jenis, yaitu air tanah dangkal dan air tanah dalam. Air tanah dangkal berasal dari air hujan yang diikat oleh akar pohon, terletak tidak jauh dari permukaan tanah, dan berada di atas lapisan kedap air. Sementara itu, air tanah dalam adalah air hujan yang meresap lebih dalam melalui proses absorpsi dan filtrasi oleh batuan serta mineral di dalam tanah sehingga, berdasarkan prosesnya, air tanah dalam lebih jernih dari air tanah dangkal (Kumalasari, 2011). Peningkatan pengambilan air tanah untuk memenuhi kebutuhan penduduk di daerah perkotaan yang semakin meningkat menyebabkan penurunan muka air tanah di kota-kota besar. Peningkatan jumlah penduduk, pemanfaatan air yang semakin banyak, perpindahan air antar daerah aliran sungai dalam satu cekungan airtanah, dan dampak dari perubahan iklim global dapat menyebabkan perubahan kedudukan muka air tanah (Tam & Nga, 2018).

Permasalahan potensi air tanah, baik kuantitas maupun kualitasnya, banyak terkait dengan karakteristik material penyusun dari mana air tanah itu berasal. Keberadaan air tanah dan potensinya sangat dipengaruhi oleh faktor-faktor lingkungan, seperti formasi geologi atau sifat batuan yang menentukan kemampuan menyimpan dan meloloskan air (akuifer), serta aspek bentuk lahan yang mempengaruhi kuantitas dan kualitas air tanah. Dalam jangka panjang, peningkatan pengambilan air tanah dapat menyebabkan terjadinya penurunan air tanah yang bersifat dinamis, dipengaruhi oleh beberapa faktor alami terutama oleh geologi dan geomorfologi (Cahyadi et al., 2018). Cekungan air tanah adalah wilayah yang dibatasi oleh batas hidrogeologi, di mana terjadi semua proses hidrogeologi (Purnama, 2019). Penurunan laju infiltrasi dapat menyebabkan peningkatan aliran permukaan dan debit banjir di suatu daerah. Di sisi lain, penurunan laju infiltrasi juga dapat menyebabkan penurunan jumlah air yang meresap ke dalam tanah sebagai imbuhan untuk akuifer (Purnama, Tivianton, et al., 2019)

Kuantitas air tanah merujuk pada jumlah total air yang tersimpan di dalam lapisan tanah atau akuifer pada suatu waktu tertentu. Ini mencakup air yang terisi di antara partikel-partikel tanah dan batuan (Safitri et al., 2019). Pentingnya kuantitas air tanah memainkan peran kunci dalam memenuhi kebutuhan air untuk konsumsi manusia, pertanian, industri, dan keperluan ekosistem. Akuifer dapat dijumpai pada dataran pantai, daerah kaki gunung, lembah antara pegunungan, dataran aluvial, dan daerah topografi. Oleh karena itu, para ilmuwan mengembangkan rekayasa teknologi, seperti sumur resapan dan lubang resapan biopori, untuk menjaga kuantitas dan kualitas air tanah (Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi, 2018).

Secara geologi, wilayah Kota Piru dan sekitarnya disusun oleh batuan metamorf berumur tua yang bersifat kedap terhadap air, serta keberadaan endapan aluvial yang diperkirakan dapat menjadi akuifer. Namun, kemampuannya relatif terbatas baik dari segi luas maupun ketebalannya, sehingga air tanah di Daerah Piru dan sekitarnya diperkirakan juga relatif terbatas. Oleh sebab itu, dikawatirkan pengambilan air yang berlebihan, tidak seimbang, dan tidak sesuai dengan potensinya berpeluang mengakibatkan terjadinya degradasi air tanah di daerah tersebut, terutama karena lokasinya yang berdekatan dengan pantai, yang dapat meningkatkan risiko intrusi air laut. Pertumbuhan penduduk di Kota Piru yang terus meningkat tidak hanya meningkatkan kebutuhan akan air, tetapi juga menimbulkan kebutuhan lahan untuk pembangunan, permukiman, usaha, dan fasilitas lainnya. Percepatan alih fungsi lahan dari hutan menjadi lahan pertanian, perkebunan, atau bahkan dari lahan pertanian menjadi industri dan permukiman menjadi konsekuensi dari pertumbuhan ini.

Potensi air tanah, baik dari segi kuantitas maupun kualitasnya, erat kaitannya dengan karakteristik bahan penyusun asal air tanah tersebut. Keberadaan air tanah dan potensinya sangat dipengaruhi oleh faktor-faktor lingkungan, seperti formasi geologi atau sifat batuan yang menentukan kemampuan menyimpan dan mengalirkan air (akuifer), serta aspek bentuk lahan yang memengaruhi kuantitas dan kualitas air tanah. Berdasarkan Peraturan Daerah Kabupaten Seram Bagian Barat Nomor 38 Tahun 2006 tentang Pengelolaan Air tanah, mekanisme perizinan pengeboran eksploitasi air tanah telah diatur. Namun, pertanyaannya adalah berapa banyak

titik sumur bor yang dapat diizinkan oleh Pemerintah Daerah pada satuan luasan tertentu dengan tetap memprioritaskan kelestarian lingkungan hidup, terutama kondisi permukaan air bawah tanah, agar tidak mengalami penurunan atau bahkan intrusi air laut.

Mengingat hingga saat ini basis data potensi air tanah di Kabupaten Seram Bagian Barat belum memadai, hal ini belum dapat mendukung kebutuhan perencanaan pengelolaan air tanah dan arah pemanfaatannya secara optimal. Oleh karena itu, penelitian seperti "Pemetaan Potensi Air tanah Wilayah Kota Piru Kabupaten Seram Bagian Barat" sangat diperlukan. Penelitian ini merupakan langkah penting untuk memperoleh data ketersediaan dan potensi air tanah yang lebih akurat, sebagai dasar perencanaan pengelolaan air tanah di Kota Piru dan sekitarnya, sehingga risiko degradasi atau kerusakan air tanah akibat pemanfaatan yang berlebihan dapat diminimalkan.

METODE PENELITIAN

Metode yang diterapkan dalam penelitian ini adalah metode survei dengan menggunakan analisis data primer dan data sekunder. Sumber data mencakup citra satelit, peta tematik, observasi lapangan, dan data resmi dari berbagai dinas terkait. Kegiatan penelitian dilaksanakan pada bulan Desember tahun 2023 di Wilayah Kota Piru, Kabupaten Seram Bagian Barat. Proses pengumpulan data dilakukan secara sistematis dengan memanfaatkan mesin pencari seperti Google Scholar dan basis data penelitian lainnya. Data-data yang terkumpul kemudian dianalisis secara kritis dan sintesis dengan mengidentifikasi kesamaan, perbedaan, dan kesimpulan dari setiap penelitian yang menjadi rujukan (Leuwol, et al., 2023).

Penelitian ini terbagi menjadi tiga tahap, yaitu persiapan, pelaksanaan, dan analisis data. Pada tahap persiapan, peneliti menetapkan metodologi, mengumpulkan peralatan, dan mempersiapkan segala sesuatu yang diperlukan untuk penelitian. Selanjutnya, pada tahap pelaksanaan, peneliti menjalankan proses pengumpulan data sesuai dengan rencana dan metodologi yang telah ditetapkan. Terakhir, pada tahap analisis data, data yang telah terkumpul disusun, dievaluasi, dan diinterpretasikan untuk menghasilkan temuan atau kesimpulan yang relevan dengan tujuan penelitian. Metode ini memungkinkan peneliti untuk mendapatkan pemahaman yang komprehensif tentang potensi air tanah di Wilayah Kota Piru. Selain itu, pendekatan yang menggunakan data primer dan sekunder dari berbagai sumber memperkuat validitas temuan. Oleh karena itu, hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi yang signifikan dalam pemahaman dan pengelolaan potensi air tanah di Kabupaten Seram Bagian Barat.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Gambaran Umum

Secara geografis, lokasi penelitian mencakup sejumlah wilayah desa/dusun di sekitar Kota Piru, termasuk Eti, Morekau, Lumoli, Niniari, dusun Mata Empat, dan wilayah Kecamatan Seram Barat Kabupaten Seram Bagian Barat Provinsi Maluku. Koordinat astronomis lokasi penelitian terletak antara $3^{\circ}0'16,06''$ - $3^{\circ}07'41,96''$ lintang selatan (LS) dan $128^{\circ}06'11''$ - $128^{\circ}13'16,06''$ bujur timur (BT). Dari segi geomorfologi, lokasi ini terletak di dataran rendah sepanjang pesisir Teluk Latira, terbentuk oleh endapan alluvial sungai yang bermuara di Teluk Latira, dibatasi oleh batas hidrologi (constant head) permukaan air laut, dan batas tanpa aliran air tanah (no flow boundary) batuan metamorf dari formasi Saku, formasi Tehoru, dan satuan Tektonik Uli. Luas total wilayah penelitian mencapai kurang lebih $58,34 \text{ km}^2$.

Daerah Piru dan sekitarnya terpengaruh oleh iklim tropis, menampilkan musim hujan dan kemarau yang menciptakan variasi suhu, kelembaban udara, kecepatan angin, dan tekanan udara. Klasifikasi tipe iklim Oldeman mengategorikan wilayah ini sebagai tipe D.1, dengan curah hujan rata-rata tahunan terkonsentrasi dalam empat bulan basah (Mei, Juni, Juli, dan Agustus) dan satu bulan kering (November). Analisis curah hujan menggunakan data Stasiun Meteorologi dan Klimatologi Kairatu (2012-2021) memberikan dasar perhitungan potensi air tanah. Suhu udara menjadi faktor signifikan dalam mempengaruhi potensi air tanah, dengan suhu tinggi

meningkatkan evapotranspirasi dan mengurangi potensi air tanah, sementara suhu rendah cenderung meningkatkan potensinya. Dataran alluvial dan perbukitan dengan elevasi hingga 130 meter dpl memberikan morfologi seragam dengan suhu udara antara 24,5°C hingga 28,3°C. Evapotranspirasi bulanan berkisar antara 26,8 hingga 27,09 mm, dengan total evapotranspirasi tahunan sekitar 322,87 mm (metode Thorntwaite).

Fokus penelitian menyoroti kondisi air permukaan, terutama sungai dan mata air di berbagai lokasi. Sungai Eti, sebagai sungai besar, memiliki aliran sepanjang tahun (perennial) dengan debit rata-rata 2.701 L/dtk-1. Morfologi sungai yang berkelok-kelok menciptakan pola aliran dan debit yang relatif stabil, mengendalikan banjir di outerband dan sedimentasi di innerband. Musim penghujan menyebabkan peningkatan sedimentasi, terutama pasir dan sirtu di daerah hulu, serta gerusan akibat daya gerus air, memperluas tubuh sungai. Meskipun debit sungai menurun pada musim kemarau dan meningkat pada musim penghujan, kekeringan tidak pernah terjadi di sungai Eti. Material hasil endapan, seperti pasir dan sirtu, dimanfaatkan untuk pembangunan di Kota Piru. Terdapat juga dua mata air, yakni mata air Eti di Desa Eti dan mata air Piru di tengah Kota Piru. Kedua mata air ini dimanfaatkan oleh masyarakat setempat dengan kualitas air baik fisik maupun kimia, memenuhi standar kesehatan, dengan debit mata air Eti sekitar 115 L/dtk-1 dan mata air Piru sekitar 80 L/dtk-1.

Klasifikasi hidrogeologi melibatkan dua mandala air tanah utama: dataran dan perbukitan. Mandala air tanah dataran, mendominasi 80% luas penelitian, diperkirakan memiliki produktivitas akuifer tinggi karena tersusun oleh rombakan batuan dengan butir sedang hingga besar. Sebaliknya, mandala air tanah perbukitan, tersebar di bagian utara lokasi penelitian, memiliki batuan berupa batu pasir dan konglomerat dari formasi Fufa (TQf) dengan produktivitas kecil hingga sedang. Sistem akuifer terkait dengan jenis batuan dan kesarangannya dapat dikelompokkan menjadi dua: (1) akuifer dengan aliran melalui ruang antar butir dari endapan alluvial sungai (Qa) dan batupasirkonglomerat dari formasi Fufa (TQf), dan (2) akuifer dengan aliran melalui lubang pelarutan dari batu gamping di sepanjang daerah pantai.

Informasi geologi dari Peta Geologi lembar Ambon, Maluku skala 1:250.000 memaparkan susunan batuan di kota Piru dan sekitarnya dari yang berumur muda ke tua. Lapisan Alluvial (Qa) terdiri dari krikil, kerakal lanau, pasir, lempung, dan sisa tumbuhan. Formasi Fufa (TQf) membentuk batupasir dan konglomerat. Satuan Tektonik Uli (Tmpu) terdiri dari batu banchuh, berbagai bongkah asing dengan masa dasar lempung. Formasi Saku (TRs) mengandung batusabak dan grewake malih, konglomerat meta bersisipan batugamping. Komplek Tehoru (PTrt) terdiri dari filit, batusabak, sekis, dan batugamping terpualamkan, grewake malih, serta konglomerat meta bersisipan batugamping. Konfigurasi geologis ini memainkan peran kunci dalam menentukan karakteristik air tanah dan potensi akuifer di wilayah Piru.

Peta Topografi pulau Seram skala 1:100.000 dan pengamatan Dinas Pertambangan dan Energi Kabupaten Seram Bagian Barat (2008) mengelompokkan kondisi geomorfologi di kota Piru dan sekitarnya menjadi dua kelompok utama. Pertama, satuan dataran alluvial membentang sepanjang garis pantai dari Barat di daerah Tanjung Batu hingga ke daerah Eti. Morfologi dataran alluvial ini memiliki ketinggian elevasi 0-25 meter di atas permukaan laut (dpl), dengan kelerengan 0-5 persen. Kedua, satuan geomorfologi perbukitan landai menyebar luas di daerah Piru dan sekitarnya, mencapai ketinggian 150 meter dari permukaan laut (dpl), dengan kelerengan antara 5-20 persen. Informasi ini menjadi krusial dalam memahami topografi dan pengaruhnya terhadap aliran air tanah serta potensi akuifer di wilayah tersebut.

Penggunaan lahan di kota Piru dan sekitarnya mencakup beragam fungsi, termasuk permukiman, tegalan (umbi-umbian dominan), hutan sagu di dataran dan cekungan, dusun dengan pola agroforestri tradisional, hutan sekunder di perbukitan, dan lahan kritis yang terdiri dari semak belukar dan alang-alang. Distribusi penduduk di Kabupaten Seram Bagian Barat cenderung tidak merata, dengan sebagian besar penduduk terkonsentrasi di Kecamatan Seram Barat. Sebagian besar mata pencaharian penduduk di kota Piru melibatkan sektor pertanian dan perikanan, dengan sektor lainnya melibatkan pekerjaan sebagai Pegawai Negeri Sipil (PNS),

swasta, dan pedagang. Mengingat jumlah penduduk yang relatif kecil dan tingkat kepadatan yang masih terbilang rendah di kota Piru, perkiraan kebutuhan air bersih penduduk diasumsikan sebesar 100 L orang-1 hari-1. Dengan pemahaman ini, dapat diimplementasikan strategi pengelolaan sumber daya air tanah yang berkelanjutan di wilayah tersebut.

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).

1. Analisis arah aliran air tanah, baik pada akuifer bebas

Analisis aliran air tanah, baik pada akuifer bebas maupun akuifer tertekan, sangat penting untuk memahami dinamika hidrologi suatu wilayah, termasuk distribusi air tanah dan potensinya untuk penggunaan sehari-hari atau industri. Akuifer bebas atau aliran air tanah yang tidak tertekan, yang sering dijumpai di sumur gali, dipengaruhi langsung oleh kondisi atmosfer dan perubahan permukaan air, sehingga ketinggian muka air tanahnya dapat berfluktuasi tergantung pada curah hujan dan musim. Pemahaman tentang aliran air tanah dalam akuifer bebas ini diperoleh melalui analisis muka piezometrik, yang menggambarkan distribusi tekanan air di dalam tanah.

Hasil analisis menunjukkan bahwa aliran air tanah bebas di daerah Teluk Latira membentuk pola radial. Pola ini mengindikasikan bahwa air tanah mengalir dari daerah perbukitan, yang berfungsi sebagai daerah tangkapan air, menuju ke arah laut di Teluk Latira. Pola aliran ini penting untuk memahami bagaimana air tanah bergerak di bawah permukaan tanah, terutama dalam konteks pengelolaan sumber daya air dan mitigasi potensi intrusi air asin di daerah pesisir.

Kedalaman muka air tanah pada akuifer bebas di daerah ini umumnya relatif dangkal, berkisar antara 0,3 meter hingga 5 meter di bawah permukaan tanah (mbmt). Kedalaman yang lebih dangkal, khususnya di wilayah pesisir seperti di Eti dan Waemeteng Pantai, menunjukkan adanya risiko yang lebih tinggi terhadap kontaminasi dan intrusi air laut, terutama jika terjadi eksploitasi berlebihan atau perubahan iklim yang signifikan. Keberadaan muka air tanah yang dangkal di daerah pesisir juga menunjukkan bahwa daerah ini sangat dipengaruhi oleh perubahan permukaan laut dan dinamika hidrologi lokal.

2. Aliran Air Tanah Semi Tertekan

Analisis arah aliran air tanah semi tertekan di wilayah Eti dan Waemeteng memberikan wawasan penting tentang dinamika air tanah di daerah tersebut, terutama mengenai bagaimana aliran air tanah bergerak dan berpotensi mempengaruhi sumber daya air lokal. Berdasarkan data pengukuran muka air tanah dari beberapa sumur bor, ditemukan bahwa di beberapa lokasi terdapat muka air tanah positif. Fenomena ini, di mana air tanah dapat keluar dengan sendirinya tanpa perlu dipompa, mengindikasikan bahwa tekanan air tanah di bawah permukaan cukup tinggi untuk mendorong air keluar secara alami. Kejadian ini sering dijumpai di wilayah Eti dan Waemeteng, dengan muka air tanah positif yang relatif rendah, berkisar antara +0,5 meter di Waemeteng hingga +0,6 meter di Eti.

Fenomena muka air tanah positif ini semakin tinggi ketika mendekati kawasan pesisir, yang sejalan dengan prinsip muka piezometrik, di mana tekanan air di bawah permukaan meningkat karena adanya perbedaan elevasi dan tekanan yang menyebabkan air mengalir ke arah yang lebih rendah, seperti laut. Kondisi ini menunjukkan bahwa tekanan hidrostatik yang mendorong air tanah keluar lebih tinggi di dekat pantai, yang bisa menjadi indikasi adanya hubungan antara akuifer di daratan dan zona pesisir, serta kemungkinan adanya konvergensi aliran air tanah menuju laut.

Berdasarkan data muka air tanah semi tertekan tersebut, analisis arah aliran air tanah menunjukkan pola yang relatif radial, mirip dengan pola aliran air tanah di akuifer bebas. Aliran ini bergerak dari daerah yang lebih tinggi di daratan menuju kawasan pesisir atau laut, mengikuti

gradien hidrolis yang ditentukan oleh muka piezometrik. Pola radial ini penting dalam memahami distribusi air tanah dan potensinya untuk memengaruhi kualitas air di daerah pesisir, terutama dalam konteks risiko intrusi air laut dan pengelolaan sumber daya air yang berkelanjutan.

3. Hidrostratigrafi Akuifer

Analisis hidrostratigrafi akuifer merupakan langkah penting dalam memahami karakteristik dan distribusi akuifer di suatu wilayah, yang berfungsi sebagai dasar bagi pengelolaan sumber daya air tanah. Proses ini didasarkan pada model stratigrafi yang dikorelasikan dengan kondisi geomorfologi dan geologi lokasi penelitian. Informasi ini diperoleh melalui metode pendugaan geolistrik, yang merupakan teknik geofisika non-invasif yang digunakan untuk memetakan struktur bawah permukaan berdasarkan perbedaan resistivitas listrik material geologi.

Dalam penelitian ini, pendugaan geolistrik dilakukan pada 14 titik yang telah dipilih dengan cermat. Pemilihan lokasi titik pendugaan tidak sembarangan; penentuan titik-titik ini mempertimbangkan aspek geologi dan geomorfologi setempat. Pembuatan jalur pendugaan geolistrik atau cross-section dirancang sedemikian rupa agar tidak memotong lereng atau kondisi geologi yang berbeda. Hal ini penting untuk memastikan bahwa hasil interpretasi data geolistrik dapat memberikan gambaran yang akurat dan representatif tentang kondisi bawah permukaan, terutama dalam hal kontinuitas lapisan geologi yang membentuk akuifer.

Aspek geologi yang diperhatikan meliputi jenis batuan, struktur geologi seperti patahan atau lipatan, dan ketebalan lapisan sedimentasi. Sementara itu, aspek geomorfologi mencakup bentuk permukaan lahan, seperti dataran, bukit, dan lereng, yang dapat mempengaruhi akumulasi dan aliran air tanah. Dengan demikian, integrasi data geolistrik dengan informasi geologi dan geomorfologi memungkinkan pembuatan model hidrostratigrafi yang lebih akurat.

Hasil dari pendugaan geolistrik ini memungkinkan identifikasi berbagai lapisan akuifer, termasuk posisi lapisan akuifer bebas, semi tertekan, dan tertekan, serta lapisan penutup (aquitard) yang mengisolasi akuifer tersebut. Data ini juga membantu dalam menentukan ketebalan akuifer, kedalaman muka air tanah, serta potensi keberadaan sumber air yang berharga di bawah permukaan. Analisis ini sangat penting dalam perencanaan penggunaan air tanah, terutama untuk memastikan eksploitasi yang berkelanjutan dan meminimalkan risiko over-pumping atau kontaminasi.

4. Konfigurasi Akuifer

Konfigurasi akuifer meliputi penyebaran vertikal maupun horisontalnya, dianalisa berdasarkan data singkapan batuan, sumur gali, sumur bor, dan terutama berdasarkan pengukuran geolistrik. Hasil pendugaan geolistrik meliputi kedalaman dan tahanan jenis batuan (resivitas), yang diukur dengan mengalirkan arus listrik ke dalam bumi dan memperlakukan batuan sebagai media penghantar arus. Berdasarkan data hasil pengukuran geolistrik dan analisis interpretasi penampang batuanya, 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:

a. 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. Lapisan pertama merupakan tanah penutup, terdapat di bagian permukaan dengan ketebalan yang relatif tipis yaitu kurang lebih 3 meter. lapisan kedua merupakan lempung dengan nilai tahanan jenis 7-15ohm 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. Pada penampang dua dimensi ini terdapat lapisan lanau-lempung yang menjemari di dalam lapisan Pasir-kerikil, hal ini sering dijumpai pada kondisi endapan sungai yang berarus relatif tenang. Lapisan keempat merupakan lanau (lempung berpasir), yang juga merupakan hasil endapan sungai, dan memiliki hubungan menjemari dengan pasir kerakal. Lapisan lanau ini memiliki nilai tahanan jenis 25ohm meter, diperkirakan dapat berperan sebagai akuifer namun dengan produktifitas yang kecil, mengingat ukuran butirnya yang kecil sehingga menghasilkan ukuran pori yang juga relatif kecil dengan demikian kemampuan menyimpan air juga relatif lebih kecil. 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 75ohm 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 6-7ohm meter.

b. 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. Lapisan pertama merupakan tanah penutup, yang terdapat pada bagian permukaan dengan ketebalan yang relatif tipis yaitu kurang dari 3 meter. 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 50-90ohm meter. lapisan akuifer ini memiliki ketebalan yang sangat tinggi yakni dapat mencapai lebih dari 30 meter. lapisan ketiga merupakan lempung dengan nilai tahanan jenis 7-15ohm 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. Pada lokasi GL-11 dan GL-10 atau lebih ke arah utara lapisan ini sudah tidak nampak. 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 95-98ohm meter. Perbedaan nilai ini menggambarkan perbedaan ukuran butir akuifer, dimana akuifer yang berupa pasir memiliki nilai tahanan jenis yang lebih kecil bila dibandingkan dengan akuifer yang berupa kerikil.

Lapisan akuifer ini memiliki ketebalan yang sangat tinggi yakni antara 25 - 40 meter. lapisan kelima terdiri dari lanau (lempung berpasir), dengan nilai tahanan jenis 25-28ohm meter. lapisan ini tersebar cukup luas dengan ketebalan kurang lebih mencapai 30 meter. lapisan ini diperkirakan dapat berperan sebagai akuifer meskipun dengan produktifitas yang relatif kecil. Di bawah lapisan lanau tersebut terdapat lapisan batuan yang diperkirakan berupa batupasir-konglomerat (tersier), dengan nilai tahanan jenis batuanya 70-95ohm meter. Pada titik pengukuran geolistrik GL-11 terdapat lapisan batupasir- konglomerat (tersier) yang mengandung air asin dimana keterdapatannya sekitar 70meter dari permukaan tanah dan semakin menurun ke kedua arah menuju titik pengukuran GL-1 dan GL-10 sudah mencapai kurang lebih 100meter 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. Lapisan pertama merupakan tanah penutup, yang terdapat pada bagian permukaan dengan ketebalan yang relatif tipis, yaitu kurang dari 3 meter. lapisan kedua berupa lempung, dengan nilai tahanan jenis kurang dari 10ohm meter, dengan ketebalan mencapai kurang lebih 8 meter, dan cenderung menipis ke arah pantai (GL-9). Lapisan ini

diperkirakan bersifat kedap air dengan demikian lapisan akuifer di bawahnya menjadi bersifat tertekan. Hal ini dapat dibuktikan dengan adanya beberapa sumur bor positif (airnya keluar sendiri tanpa di pompa) di kompleks Waimeteng darat. 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 50-95ohm meter. Perbedaan nilai ini menggambarkan perbedaan ukuran butir akuifer, dimana akuifer yang berupa pasir memiliki nilai tahanan jenis yang lebih kecil bila dibandingkan dengan akuifer yang berupa kerakal.

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. Di bawah lapisan pasir-kerakal tersebut terdapat lapisan lanau (lempung berpasir), dengan nilai tahanan jenis 25ohm meter. Ketebalan lapisan ini mencapai 60 meter di lokasi pengukuran GL-8 dan cenderung menipis ke arah lokasi pengukuran GL-9 yakni mencapai 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 75ohm meter dengan kedalaman mencapai lebih dari 100meter 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 – 3meter. 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 25ohm meter. Di bawah lapisan batugamping terdapat lapisan lempung terendapkan yang tersebar luas dengan ketebalan kurang dari 10 meter. Nilai tahanan jenis batuan ini antara 8-10ohm meter. Di bawahnya terdapat lapisan pasir kerikil 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 50-95ohm meter. Perbedaan nilai ini menggambarkan perbedaan ukuran butir akuifer, dimana akuifer yang berupa pasir memiliki tahanan jenis yang lebih kecil bila dibandingkan dengan akuifer yang berupa kerikil. 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. Pada titik pengukuran GL-6 keterdapatan lapisan lanau ini semakin kecil. Lapisan berikutnya berupa pasir - kerikil yang terendapkan secara luas mulai dari titik pengukuran GL-4 sampai dengan GL-8, dengan membentuk sebuah cekungan.

Lapisan ini memiliki nilai tahanan jenis 60-90ohm meter dengan ketebalan mencapai 40 meter. Selanjutnya lapisan lanau (lempung berpasir) dengan nilai tahanan jenis 13-25ohm meter yang terendapkan dibawah lapisan pasir-kerikil, dengan ketebalan mencapai 60 meter. Lapisan paling bawah yang sempat dideteksi dalam pengukuran ini adalah lapisan batupasir konglomerat (tersier), dengan nilai tahanan jenis 70-90ohm 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. Lapisan pasir-kerikil/kerakal tersebut memiliki hubungan menjemari dengan lanau dan lempung. Lanau sedikit berperan sebagai akuifer karena ukuran butirnya yang relatif halus.

5. Sistem Akuifer

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:

a. Akuifer dengan aliran melalui ruang antar butir.

Sistem akuifer di lokasi penelitian ini terdiri dari dua komponen utama yang berperan penting dalam menyimpan dan menyediakan air tanah, yaitu rombakan batuan hasil endapan alluvial sungai (Qa) dan batupasir-konglomerat dari Formasi Fufa (TQf). Kedua komponen ini membentuk struktur geologi yang kompleks dan berpotensi menjadi sumber daya air tanah yang berharga.

Endapan alluvial yang menyusun sistem akuifer ini terdiri dari material lempung, kerikil, dan kerakal, yang dihasilkan oleh proses sedimentasi sungai. Material ini cenderung memiliki porositas dan permeabilitas yang tinggi, menjadikannya media yang sangat baik untuk menyimpan dan mengalirkan air tanah. Produktivitas akuifer yang tinggi dalam endapan alluvial ini disebabkan oleh kemampuannya dalam menampung air dalam jumlah besar dan melepaskannya secara efisien. Kerikil dan kerakal berfungsi sebagai ruang pori yang luas untuk penyimpanan air, sementara lempung dapat bertindak sebagai lapisan penahan yang mengatur aliran air. Oleh karena itu, akuifer yang terbentuk dalam endapan alluvial ini sangat penting untuk memenuhi kebutuhan air tanah di wilayah tersebut, baik untuk keperluan domestik, pertanian, maupun industri.

Di sisi lain, batupasir-konglomerat dari Formasi Fufa (TQf) juga merupakan komponen penting dalam sistem akuifer ini. Batupasir-konglomerat biasanya memiliki sifat permeabel, memungkinkan air tanah untuk mengalir melalui pori-pori atau ruang antar butir batuan. Formasi ini kemungkinan besar menyumbang pada kapasitas penyimpanan air tanah di area perbukitan dan dataran di sebelah utara lokasi penelitian. Penyebaran luas dari Formasi Fufa dalam morfologi dataran dan perbukitan ini menunjukkan bahwa akuifer ini dapat menjangkau wilayah yang luas, memberikan kontribusi signifikan terhadap ketersediaan air tanah di daerah tersebut.

Morfologi dataran dan perbukitan di sebelah utara lokasi penelitian memberikan karakteristik unik terhadap sistem akuifer ini. Dataran biasanya memiliki muka air tanah yang lebih dangkal, memudahkan akses terhadap air tanah melalui sumur gali atau bor. Sementara itu, perbukitan mungkin menyimpan air tanah pada kedalaman yang lebih besar, tetapi dengan potensi aliran yang berarah ke dataran yang lebih rendah, membantu menjaga pasokan air tanah di daerah yang lebih luas.

b. 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. Keberadaan sistem akuifer semi tertekan ini, dibuktikan dengan munculnya beberapa sumur bor yang airnya positif (keluar sendiri tanpa dipompa) yaitu dengan ketinggian yang relatif kecil yakni kurang lebih 0,5 meter.

a) Sistem Akuifer Tidak Tertekan (Bebas)

Akuifer tidak tertekan adalah lapisan batuan atau material yang mengandung air, yang pada bagian atasnya tidak tertutupi oleh lapisan kedap air (aquitard), sehingga memungkinkan kontak langsung dengan udara bebas. Karena tidak adanya penutup yang menghalangi, tekanan dalam akuifer ini setara dengan tekanan atmosfer, menjadikannya sensitif terhadap perubahan cuaca dan kondisi permukaan. Di lokasi penelitian, sistem akuifer tidak tertekan terbentuk terutama oleh pasir-kerikil atau kerakal hasil endapan alluvial, dengan sedikit kontribusi dari akuifer batugamping.

Akuifer pasir-kerikil/kerakal yang terbentuk dari endapan alluvial menunjukkan produktivitas yang tinggi karena material penyusunnya memiliki porositas dan permeabilitas yang besar. Butiran pasir dan kerikil yang relatif besar dan tidak terkonsolidasi memungkinkan air tanah untuk bergerak dengan mudah melalui pori-pori yang luas, sehingga air dapat tersimpan dalam jumlah yang signifikan dan dilepaskan dengan mudah saat diperlukan. Akuifer ini sangat penting untuk pasokan air lokal karena kapasitas penyimpanannya yang besar dan kemampuannya untuk memproduksi air dalam jumlah besar.

Sementara itu, akuifer batugamping juga menunjukkan produktivitas yang tinggi, meskipun melalui mekanisme yang berbeda. Batugamping cenderung mengalami proses pelarutan kimiawi yang menciptakan lubang-lubang atau rongga-rongga dalam struktur batuan. Rongga-rongga ini memungkinkan air untuk mengalir dengan cepat dan efisien, meningkatkan kapasitas transportasi air tanah. Hal ini menjadikan akuifer batugamping sebagai sumber air tanah yang berharga, terutama di daerah yang memiliki formasi geologi ini.

Kedudukan bagian atas akuifer tidak tertekan di lokasi penelitian bervariasi, dengan kedalaman yang relatif dangkal. Di daerah seperti Piru, Eti, dan sekitarnya, muka air tanah berada pada kedalaman sekitar 0,3 meter di bawah muka tanah (mbmt), sedangkan di dusun Kilosatu, kedalaman ini mencapai sekitar 5 mbmt. Variasi kedalaman ini mencerminkan perbedaan kondisi geomorfologi dan geologi setempat, serta menunjukkan bahwa akses terhadap air tanah di wilayah ini umumnya mudah, terutama di daerah dataran rendah.

Bagian bawah akuifer tidak tertekan juga bervariasi berdasarkan kondisi geologi lokal. Di daerah yang memiliki akuifer semi tertekan, kedalaman bagian bawah akuifer bebas berada pada sekitar 10 mbmt, menandakan bahwa lapisan air tanah ini cukup dekat dengan permukaan. Namun, di area yang tidak memiliki akuifer semi tertekan, kedalaman bagian bawah akuifer bebas bisa mencapai hingga 100 mbmt. Perbedaan ini penting untuk dipahami dalam konteks eksplorasi dan pengelolaan air tanah, karena kedalaman akuifer yang berbeda memerlukan pendekatan yang berbeda dalam hal pengeboran dan pengelolaan air tanah.

b) Sistem Akuifer Semi Tertekan

Akuifer semi tertekan merupakan lapisan batuan pembawa air yang memiliki ciri khas berupa lapisan penutup di bagian atasnya, yang terdiri dari material yang hanya sedikit dapat melewatkan air tanah. Lapisan penutup ini, seperti lempung yang relatif kedap air atau lanau (lempung berpasir) yang bersifat semi-permeabel, berfungsi untuk menahan sebagian besar air di dalam akuifer, sehingga menciptakan tekanan yang sedikit lebih tinggi dibandingkan tekanan atmosfer. Akibatnya, muka air tanah pada akuifer semi tertekan biasanya berada di atas bagian atas lapisan akuifernya, menunjukkan adanya tekanan yang mendorong air ke atas.

Di lokasi penelitian, sistem akuifer semi tertekan ini terbentuk dari lapisan pasir kerikil/kerakal yang terdistribusi secara lepas-lepas. Material ini dikenal memiliki porositas dan permeabilitas tinggi, yang memungkinkan air untuk disimpan dalam jumlah besar dan dialirkan dengan mudah saat dibutuhkan. Kombinasi antara lapisan penutup yang semi-permeabel dan lapisan akuifer yang sangat produktif ini membuat akuifer semi tertekan menjadi sumber air tanah yang signifikan, dengan potensi besar untuk memenuhi kebutuhan air lokal.

Penyebaran sistem akuifer semi tertekan di wilayah penelitian memanjang dari daerah Waemeteng ke arah Selatan hingga mencapai wilayah Eti. Pola penyebaran ini mencerminkan kondisi geologi dan geomorfologi setempat, di mana lapisan lempung atau lanau bertindak sebagai penutup akuifer, membentuk suatu sistem yang teratur dan memungkinkan adanya variasi tekanan air tanah di berbagai lokasi. Penyebaran ini juga mengindikasikan bahwa wilayah-wilayah ini memiliki potensi besar untuk eksploitasi air tanah, terutama di daerah-daerah yang membutuhkan pasokan air yang stabil dan berkelanjutan.

Kedudukan bagian bawah lapisan akuifer semi tertekan bervariasi di seluruh wilayah penelitian. Di daerah Waemeteng Darat, kedalaman bagian bawah akuifer ini berada sekitar 40 meter di bawah muka tanah (mbmt). Namun, di dusun Mata Empat, kedalaman bagian bawah akuifer semi tertekan dapat mencapai lebih dari 120 mbmt. Perbedaan kedalaman ini

menunjukkan adanya variasi dalam ketebalan lapisan penutup dan formasi geologi di wilayah tersebut, yang dapat mempengaruhi potensi dan ketersediaan air tanah di masing-masing lokasi.

6. Kuantitas Air Tanah

Kuantitas 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 terusmenerus. Penghitungan kuantitas air tanah di lokasi penelitian dapat diuraikan sebagai berikut:

a. Akuifer Tidak Tertekan (Bebas)

Perhitungan imbuhan air tanah bebas di lokasi penelitian ini merupakan langkah penting dalam menentukan potensi air tanah yang dapat digunakan secara berkelanjutan. Proses perhitungan ini dilakukan dengan menggunakan metode Encona dan Partners (1988), yang mengandalkan nilai koefisien imbuh berdasarkan litologi dan morfologi wilayah. Wilayah penelitian ini terutama terdiri dari endapan alluvial dan batupasir konglomerat dari Formasi Fufa. Kondisi morfologi yang beragam di wilayah ini—mulai dari dataran pada endapan alluvial hingga perbukitan landai pada Formasi Fufa—telah menjadi dasar penentuan koefisien imbuh yang berkisar antara 0,15 hingga 0,35.

Endapan alluvial yang menyusun sebagian besar wilayah dataran umumnya memiliki porositas yang tinggi, yang memungkinkan infiltrasi air permukaan ke dalam tanah secara efektif. Di sisi lain, morfologi berbukit landai pada batuan Formasi Fufa, meskipun lebih solid dibandingkan endapan alluvial, masih memungkinkan imbuhan air tanah karena keberadaan pasir konglomerat yang juga memiliki porositas cukup untuk menampung air. Penentuan koefisien imbuh antara 0,15 dan 0,35 ini mencerminkan kemampuan lapisan-lapisan geologi di wilayah tersebut dalam menyerap air hujan yang kemudian menjadi air tanah bebas.

Berdasarkan perhitungan yang dilakukan, volume air tanah bebas yang diperoleh dari imbuhan tahunan di wilayah penelitian ini diperkirakan mencapai $25,02 \times 10^6 \text{ m}^3$ per tahun. Angka ini memberikan gambaran tentang kapasitas alami wilayah ini untuk menambah cadangan air tanah bebas setiap tahunnya. Oleh karena itu, pengelolaan air tanah di wilayah ini harus disesuaikan dengan angka imbuhan ini untuk memastikan bahwa pengambilan air tanah tidak melebihi jumlah yang bisa diimbuhkan secara alami.

Keterbatasan volume imbuhan tahunan ini menekankan pentingnya pendekatan yang berkelanjutan dalam pengelolaan air tanah. Jika pengambilan air tanah bebas melebihi $25,02 \times 10^6 \text{ m}^3$ per tahun, ada risiko bahwa cadangan air tanah akan terus menyusut, yang dapat mengakibatkan penurunan muka air tanah, peningkatan risiko intrusi air asin di daerah pesisir, serta berkurangnya ketersediaan air bagi kebutuhan domestik, pertanian, dan industri di masa depan.

b. Akuifer Tertekan

Perhitungan aliran air tanah dari daerah imbuh ke daerah lepasan air tanah akan dilakukan dengan menggunakan formula Darcy, dimana aliran air tanah tertekan dari daerah imbuh ke daerah lepasannya dibagi menjadi 4 (empat) segmen aliran, yaitu Q1 sampai Q4.

Formula Darcy yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$Q = T \cdot i \cdot L$$

Keterangan:

Q: Jumlah aliran air tanah.

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 diatas, maka diperoleh jumlah aliran air tanah semi tertekan di lokasi penelitian adalah sebanyak 42.446,44 m^3/hari -1 atau sama dengan $15.492 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{thn}$ -1.

7. Kualitas Air Tanah

Pengambilan sampel air tanah di wilayah Piru dan sekitarnya dilakukan melalui berbagai sumber, termasuk sumur terbuka atau sumur gali dan sumur bor. Daerah ini memiliki banyak sumber air tanah yang dimanfaatkan oleh masyarakat setempat, sehingga penting untuk memahami kualitas air tanah yang tersedia untuk memastikan bahwa air tersebut aman dan layak untuk berbagai keperluan, baik domestik maupun pertanian.

Setiap sampel air tanah yang diambil kemudian diuji di laboratorium untuk menilai sifat fisik dan kimia air tersebut. Pengujian ini mencakup berbagai parameter penting yang dapat memberikan gambaran menyeluruh tentang kualitas air tanah di wilayah tersebut. Sifat fisik yang diuji meliputi kekeruhan, warna, bau, dan rasa air. Kekeruhan mengacu pada tingkat kejernihan air, yang penting untuk menilai apakah air tersebut mengandung partikel-partikel tersuspensi yang dapat mempengaruhi kualitas estetika dan kesehatan. Warna, bau, dan rasa juga merupakan indikator penting yang dapat memberikan petunjuk awal tentang potensi kontaminasi atau kondisi air yang tidak biasa.

Selain sifat fisik, analisis kimia air tanah dilakukan untuk mengidentifikasi berbagai ion dan senyawa kimia yang terkandung di dalamnya. Parameter kimia yang diuji meliputi konduktivitas listrik (DHL), pH, dan kesadahan air. Konduktivitas listrik memberikan indikasi tentang jumlah total zat terlarut dalam air, yang berhubungan dengan salinitas dan potensi masalah kualitas air seperti korosivitas. Pengukuran pH dilakukan untuk mengetahui tingkat keasaman atau kebasaan air, yang dapat mempengaruhi rasa air dan juga kemampuan air untuk bereaksi dengan bahan-bahan lain. Kesadahan air, yang diukur melalui konsentrasi ion kalsium (Ca^{2+}) dan magnesium (Mg^{2+}), penting untuk menilai potensi terbentuknya kerak pada peralatan dan jaringan pipa.

Analisis lebih lanjut melibatkan pengukuran konsentrasi unsur atau senyawa kimia tertentu dalam air tanah, seperti ion-ion kalsium (Ca^{2+}), magnesium (Mg^{2+}), besi (Fe^{3+}), mangan (Mn^{2+}), kalium (K^{+}), natrium (Na^{+}), litium (Li^{+}), dan amonium (NH_4^{+}). Selain itu, anion seperti karbonat (CO_3^{2-}), bikarbonat (HCO_3^{-}), klorida (Cl^{-}), sulfat (SO_4^{2-}), nitrat (NO_3^{-}), serta kandungan silika (SiO_2) dan total padatan terlarut (TDS) juga diukur. Konsentrasi dari unsur dan senyawa ini dapat memberikan informasi penting mengenai asal usul air, proses geokimia yang terjadi di akuifer, dan potensi kontaminasi yang mungkin terjadi akibat aktivitas manusia atau proses alami.

Hasil pengujian laboratorium ini sangat penting dalam menentukan kelayakan air tanah untuk konsumsi manusia serta penggunaannya untuk keperluan lain. Dengan mengetahui sifat fisik dan kimia air tanah, pihak terkait dapat mengambil langkah-langkah yang tepat untuk memastikan bahwa air tanah yang diambil dari sumur-sumur ini aman dan sesuai dengan standar kualitas air yang berlaku. Ini juga membantu dalam perencanaan pengelolaan sumber daya air tanah yang lebih baik di wilayah Piru dan sekitarnya, memastikan ketersediaan air yang berkelanjutan dan berkualitas bagi masyarakat setempat.

a. Tipe/Fasies Air Tanah

Air tanah mengandung berbagai komponen kimia berupa kation dan anion, yang konsentrasinya dapat bervariasi tergantung pada sumber air, jenis batuan yang dilalui, serta kondisi lingkungan. Namun, secara alami, air tanah cenderung mencapai kesetimbangan antara total kation dan anion yang terkandung di dalamnya. Kesetimbangan ini diukur dalam satuan ekuivalen, di mana total nilai ekuivalen (equivalent parts per million, epm) dari kation seharusnya sama dengan total nilai ekuivalen dari anion. Kesetimbangan ini penting karena mencerminkan stabilitas kimiawi air tanah dan dapat digunakan untuk menganalisis kualitas air serta proses geokimia yang mempengaruhi air tersebut.

Untuk mendapatkan nilai ekuivalen masing-masing ion, pertama-tama perlu dihitung konsentrasi ion dalam satuan part per million (ppm) atau milligram per liter (mg/L). Kemudian, konsentrasi ini dibagi dengan berat ekuivalen ion tersebut. Berat ekuivalen suatu ion diperoleh

dengan membagi berat atomnya dengan valensi (muatan) ion tersebut. Misalnya, untuk ion kalsium (Ca^{2+}), berat ekuivalennya adalah berat atom kalsium dibagi dengan valensi dua, karena ion kalsium memiliki muatan +2.

Setelah nilai ekuivalen (meq) masing-masing ion diperoleh, nilai-nilai ini kemudian dapat diplotkan ke dalam diagram seperti diagram Stiff dan diagram Piper. Diagram Stiff merupakan representasi grafis yang menunjukkan konsentrasi relatif dari kation dan anion dalam air tanah, yang membantu mengidentifikasi tipe air dan pola kimia yang dominan. Diagram ini menampilkan pola berbentuk poligon yang unik untuk setiap sampel air, memudahkan perbandingan antara sampel yang berbeda.

Sementara itu, diagram Piper adalah alat visualisasi yang lebih kompleks yang digunakan untuk klasifikasi air berdasarkan komposisi kimianya. Diagram Piper terdiri dari dua segitiga untuk kation dan anion yang kemudian digabungkan dalam diagram belah ketupat di tengah. Dengan memplot nilai meq ion pada diagram ini, jenis air tanah dapat diidentifikasi, apakah tergolong sebagai air keras, air lunak, atau mengandung dominasi ion tertentu seperti klorida atau sulfat.

a) 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:

- Tipe air tanah Magnesium-Bikarbonat (Contoh air tanah dari SG-12, SG-13, dan SG-11).
- Tipe air tanah Kalsium-Bikarbonat (Contoh air tanah dari SG-2, SB-3, SB-2, SB-5, SG-7, SG-6, dan SG-3).
- Tipe air tanah Potasium-Bikarbonat (Contoh air tanah dari SB-1).
- Tipe air tanah Magnesium Potasium-Bikarbonat (Contoh air tanah dari SG8).

b) 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. Dari pengeplotan kation dan anion di masing – masing segitiga sama sisi tersebut (dalam satuan meq) kemudian ditarik atau diplotkan ke dalam jajaran genjang di bagian atasnya. Diagram ini sangat penting dalam penentuan fasies air tanah, yaitu untuk mengetahui asal atau genetika air dalam suatu akuifer. 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:

- 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. Fasies air tanah ini menunjukkan keterbentukan air tanah yang melewati batuan karbonat, vulkanik, beku, ataupun metamorf. Hal ini dapat dipahami mengingat endapan alluvial yang ada terbentuk dari pelapukan dan erosi dari batuan metamorf ataupun batuan beku dan vulkanik.
- Sodium Potasium-Bikarbonat, Yang termasuk kedalam fasies air tanah ini adalah sample air tanah dari SG-8 di Dusun Kilosatu desa Piru.

b. Kualitas Air tanah untuk air Minum

Hasil analisis laboratorium terhadap masing-masing contoh air tanah, menunjukkan secara umum contoh air tanah yang berasal dari lokasi penelitian ini layak/memenuhi syarat untuk digunakan sebagai air minum karena parameter-parameternya masih memenuhi peraturan

tentang kualitas air tanah untuk airminum tersebut, kecuali pada SG13 masih perlu dilakukan aerasi untuk menurunkan kadar Fe, kemudian disaring untuk lebih menjernihkan airnya dan SG11 perlu ditambah kaporit untuk menetralkan pH air.

c. Kualitas Air tanah untuk Pertanian

Diagram Wilcox merupakan diagram yang terdiri dari sebuah sumbu vertikal yang digunakan untuk mengplotkan nilai Sodium Adsorption Ratio/SAR (dalam satuan ekuivalen/joule/epj) dan sebuah sumbu horizontal untuk mengplotkan nilai konduktivitas elektrik/DHL air tanah (dalam satuan $\mu\text{mhos/cm}$). Berdasarkan analisis dengan menggunakan diagram Wilcox, ditunjukkan bahwa contoh air tanah yang berasal dari lokasi penelitian terbagi menjadi 3 (tiga) kelompok, yaitu:

1. Kelompok S1C1, memiliki resiko alkalinitas dan resiko kegaraman rendah. Termasuk dalam kelompok ini adalah Contoh air tanah SB-1, SB-2, SB-3, SB5, SG-11, SG-12, SG-6, dan SG-3.
2. Kelompok S2C1, memiliki resiko alkalinitas sedang (alkalinitas merupakan kemampuan air untuk menetralkan asam kuat) dan resiko kegaraman rendah. Termasuk dalam kelompok ini adalah contoh air tanah SG8 (Dusun Kilosatu).
3. Kelompok S1C2, memiliki resiko alkalinitas rendah dan resiko kegaraman sedang. Termasuk dalam kelompok ini adalah contoh air tanah SG-2, SG-7, dan SG-13.

Pembahasan

Potensi Air Tanah

Kondisi morfologi, geologi dan iklim (curah hujan) relatif seragam di lokasi penelitian ini menjadikan potensi air tanah yang relatif sama juga di daerah ini. Perbedaan potensi air tanah pada endapan alluvial dikarenakan terdapat perbedaan ketebalan akuifernya, dimana semakin mendekati ke arah pantai maka akuifernya semakin tebal, sebaliknya akuifernya cenderung semakin menipis ke arah perbukitan. Berdasarkan matriks potensi air tanah tersebut, wilayah pada lokasi penelitian dapat dikelompokkan menjadi 3 (tiga) wilayah potensi air tanah yaitu:

1. antara 8 sampai dengan 15 mbmt, dengan ketebalan akuifer yang mencapai 35meter. Parameter akuifer berdasarkan hasil uji pemompaan pada akuifer tertekan menunjukkan transmisivitas (T) $3,82 \times 10^{-3}$ m.det-1, dengan debit jenis (Q_s) $3,13$ l.det-1.m-1, dan debit optimum (Wilayah potensi Air tanah tinggi pada akuifer bebas maupun akuifer tertekan. Wilayah potensi air tanah ini memiliki penyebaran yang luas yaitu mulai dari Desa Piru sampai ke Desa Eti dan meluas ke arah darat sampai ke dusun translok. Kedudukan elevasi dari wilayah potensi air tanah ini antara 0 sampai dengan kurang lebih 30 maml. Hasil pengukuran geolistrik menunjukkan ketebalan akuifer bebas pada wilayah potensi air tanah ini relatif tebal, yaitu mencapai ketebalan kurang lebih 50 meter. Adapun nilai parameter akuifer bebas ini, berdasarkan hasil uji pemompaan menunjukkan nilai transmisivitas (T) $1,65 \times 10^{-3}$ m2.det-1, dengan nilai debit jenis (Q_s) $1,35$ l/detik-1/m-1, dan debit optimum (Q_{opt}) 45 L det-1. Kedudukan bagian atas pada akuifer tertekan pada wilayah potensi air tanah ini secara umum relatif dangkal, yaitu kurang lebih Q_{opt} kurang lebih antara 26,6 sampai dengan 33,24 L det-1.
2. Wilayah potensi air tanah tinggi pada akuifer bebas dan nihil pada akuifer tertekan. Wilayah potensi air tanah ini memiliki penyebaran yang luas memanjang searah daerah perbukitan, mulai dari Barat wilayah lokasi penelitian sampai ke Timur daerah Eti. Kedudukan elevasi dari wilayah potensi air tanah ini adalah antara 0 sampai kurang lebih 100 maml. Wilayah ini diidentifikasi sebagai wilayah dengan potensi air tanah rendah mengingat keberadaan akuifer tertekan di wilayah ini secara umum sudah tidak ditemukan, sehingga dapat dikatakan potensi air tanah tertekannya rendah. Adapun untuk akuifer bebasnya, berdasarkan pendugaan geolistrik menunjukkan kedudukan muka air tanah relatif dangkal antara 0,3 sampai 4 mbmt. Ketebalan akuifer bebas mencapai kurang lebih 20 meter. Adapun nilai parameter akuifer bebas ini, berdasarkan hasil uji pemompaan yang telah dilakukan,

- menunjukkan nilai transmisivitas (T) $1,65 \times 10^{-3}$ m.det-1, dengan nilai debit jenis (Q_s) 1,35 l.det-1.m-1, dan debit optimum mencapai (Q_{opt}) 45 l.det-1.
3. Wilayah potensi air tanah rendah pada akuifer bebas dan nihil pada akuifer tertekan. Wilayah potensi air tanah ini tersebar memanjang di bagian atas lokasi penelitian, yaitu meliputi daerah perbukitan landai di bagian Utara dan sedikit daerah pantai bagian Barat. Ketinggian elevasi potensi air tanah ini mulai dari 0 sampai dengan kurang lebih 150 maml. Akuifer pada wilayah potensi air tanah ini secara umum disusun oleh batupasir-konglomerat (Formasi Fufa) dan sedikit batugamping. Kedudukan muka air tanah pada wilayah ini diperkirakan cukup bervariasi antara dangkal di daerah dekat pantai dan cukup dalam di daerah perbukitan. Ketebalan akuifer bebas relatif bervariasi dari 5 sampai dengan 80 meter. Parameter akuifer bebas pada wilayah potensi air tanah ini berdasarkan hasil uji pemompaan memiliki nilai transmisivitas (T) kurang lebih antara $1,62 \times 10^{-4}$ sampai dengan $4,63 \times 10^{-5}$ m.det-1, dengan debit jenis (Q_s) 0,0379 sampai dengan 0,1328 L det-1.m-1, dan debit optimum (Q_{opt}) 0,505 sampai dengan 0,664 L det-1.

Kebutuhan Air Bersih Penduduk

Prediksi kebutuhan air bersih penduduk di lokasi penelitian dilakukan pada desa-desa yang terdapat disekitar lokasi penelitian yakni desa Morekao, Eti, Lumoly, Piru dan Niniary, karena peluang terbesar pemanfaatan air tanah dilaksanakan adalah pada kelima desa tersebut. Jumlah penduduk Piru dan sekitarnya Tahun 2033 yang diperoleh dari Badan Catatan Sipil dan Kependudukan Kabupaten Seram Bagian Barat sebanyak 14.333 jiwa dengan jumlah Kepala Keluarga sebanyak 3.411 KK dengan Ratarata persentase jumlah pertumbuhan penduduk sebesar 5,72%. Jumlah penduduk di Piru dan sekitarnya dapat dapat dimasukkan dalam category V, sehingga dalam hal ini prediksi kebutuhan air bersih penduduk rata-rata diasumsikan sebesar 100 L orang-1 hari-1. Berdasarkan prediksi jumlah kebutuhan air bersih penduduk diatas bila dibandingkan dengan prediksi potensi kuantitas air tanah yang terdapat pada akuifer bebas dan akuifer semi tertekan di lokasi penelitian yakni sebanyak $40,512 \times 10^6$ m³tahun-1, maka dapat disimpulkan bahwa potensi air tanah yang ada masih tersedia cukup melimpah sampai dengan 10 (sepuluh) tahun ke 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 ditemukan 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 Potasium – Bikarbonat di daerah dusun Kilo Satu Piru. Pada daerah dataran alluvial yang berbatasan dengan perbukitan landai, maupun daerah perbukitan landai, perlu dijadikan zona konservasi karena daerah ini merupakan daerah imbuhan (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

penurunan III yaitu daerah yang memiliki potensi penurunan air tanah rendah yang terdapat di daerah perbukitan landai.

KESIMPULAN

Potensi kuantitas air tanah di lokasi penelitian, untuk akuifer tidak tertekan (bebas) kurang lebih sebanyak 25,020 x 106 m³. tahun-1 sedangkan untuk akuifer semi tertekan kurang lebih sebanyak 15,492 x 106 m³. tahun-1 sehingga total potensi kuantitatif air tanah di lokasi penelitian kurang lebih sebanyak 40,512 x 106 m³. tahun-1. Potensi ini mampu mendukung ketersediaan air bagi kebutuhan air bersih penduduk saat ini sebesar 0,523 x 106 m³ tahun-1 hingga tahun 2020 yaitu sebesar 0,912 x 106 m³ tahun-1.

Kualitas air tanah di lokasi penelitian tidak seluruhnya layak/memenuhi syarat untuk di konsumsi, karena pada lokasi Waetemen pantai air tanahnya mengandung besi (Fe) agak tinggi (SG13), dan pada kompleks Markas Ph agak rendah (SG11). Kualitas air tanah untuk mendukung kebutuhan pertanian/irigasi secara umum masih cukup baik, dan dibagi menjadi 3 (tiga) kelompok yaitu: (a) kelompok S1C1 (memiliki resiko alkalinitas dan kegaraman rendah), (b) kelompok S2C1 (memiliki resiko alkalinitas sedang dan kegaraman rendah), dan (c) kelompok S1C2 (memiliki resiko alkalinitas rendah dan kegaraman sedang). Dengan demikian kualitas air tanah di lokasi penelitian memenuhi syarat untuk mendukung kegiatan pertanian (irigasi).

Berdasarkan potensi air tanah yang dimiliki di lokasi penelitian, maka pemanfaatan air tanah yang dapat diarahkan untuk kebutuhan air minum, pengembangan kawasan pemukiman, dan kawasan pertanian. Khusus untuk zona konservasi dapat dilaksanakan pada dataran aluvial dengan kondisi potensi air tanah tinggi pada akuifer bebas dan nihil pada akuifer semi tertekan serta keseluruhan daerah perbukitan landai.

DAFTAR PUSTAKA

- Aisyah, A. N. (2017). analisis dan identifikasi status mutu air tanah di kota singkawang studi kasus kecamatan singkawang utara. *Jurnal Teknologi Lingkungan Lahan Basah*, 5(1), 1–10. <https://doi.org/10.26418/jtllb.v5i1.18404>
- Akhirul, Witra, Y., Umar, I., & Erianjoni. (2020). dampak negatif pertumbuhan penduduk terhadap lingkungan dan upaya mengatasinya. *Jurnal Kependudukan Dan Pembangunan Lingkungan*, 1(3), 76–84.
- Amari, R. O. (2023). efek iklim ekstrem dalam kehidupan. 28(2), 31–41. <https://doi.org/https://doi.org/10.54714/widyaakarsa.v28i2.234>
- Badaruddin, Syarifuddin, K., & Nisa, K. (2021). *hidrologi hutan*.
- Barang, M. H. D., & Saptomo, S. K. (2019). analisis kualitas air pada jalur distribusi air bersih di gedung baru fakultas ekonomi dan manajemen institut pertanian bogor. *Jurnal Teknik Sipil Dan Lingkungan*, 4(1), 13–24. <https://doi.org/10.29244/jsil.4.1.13-24>
- 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
- Gufuran, M., & Mawardi, M. (2019). dampak pembuangan limbah domestik terhadap pencemaran air tanah di kabupaten pidie jaya. *Jurnal Serambi Engineering*, 4(1), 416–425. <https://doi.org/10.32672/jse.v4i1.852>
- Jone, Y. (2018). kajian potensi air tanah dan pembagian wilayah potensi di cekungan air tanah maumere. *Jurnal IPTEK*, 22(1), 21–28. <https://doi.org/10.31284/j.ipitek.2018.v22i1.229>
- Lasaiba, M. A. (2024a). Mitigation of Waste Pollution in Coastal Ecosystems and Mangrove Forests in Coastal Areas. *Jurnal Pengabdian Arumbai*, 2(1), 1–13. <https://ojs3.unpatti.ac.id/index.php/arumbai>
- Lasaiba, M. A. (2024b). Permukiman Kumuh: Menguak Masalah dan Tantangan Perkotaan. *Jurnal Jendela Pengetahan*, 17(1), 22–33. <https://doi.org/10.30598/jp17iss1pp22-33>
- Marganingrum, D., & Sudrajat, Y. (2018). estimasi daya dukung sumber daya air di pulau kecil

- (studi kasus pulau pari). *Jurnal Wilayah Dan Lingkungan*, 6(3), 164. <https://doi.org/10.14710/jwl.6.3.164-182>
- Mata, P., Di, A. I. R., & Batu, K. (2015). pengaruh formasi geologi terhadap potensi mata air di kota batu. 20(2), 9–19. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.17977/pg.v20i2.5063>
- Maulini, S., Kurniawan, Y., & Muliyani, R. (2016). the three tier-test untuk mengungkap kuantitas siswa yang miskonsepsi pada konsep gaya pegas. *JIPF (Jurnal Ilmu Pendidikan Fisika)*, 1(2), 42–44. <https://doi.org/10.26737/jipf.v2i2.222>
- Muhammad Arwanda Agam Noeraga 1, Galing Yudana 1, P. R. 1. (2020). pengaruh pertumbuhan penduduk dan penggunaan lahan terhadap kualitas air bersih. 2(1), 70–85. <https://doi.org/https://doi.org/10.20961/desa-kota.v2i1.17058.70-85>
- Purnama, S., Suyono, S., & Sulaswono, B. (2019). sistem akuifer dan potensi airtanah daerah aliran sungai (das) opak. *Forum Geografi*, 21(2), 111–122. <https://doi.org/10.23917/forgeo.v21i2.2356>
- Purnama, S., Tivianton, T. A., Cahyadi, A., & Febriarta, E. (2019). kajian daerah imbuhan airtanah di kabupaten ngawi. *Kajian Daerah Imbuhan Airtanah Di Kabupaten Ngawi*, 16(1), 54–59. <https://doi.org/10.15294/jg.v16i1.18358>
- Purwantara, S. (2015). dampak pengembangan permukiman terhadap air tanah di wilayah yogyakarta dan sekitarnya. *Geoedukasi*, 4(1), 31–40.
- Putra, A. Y., & Yulia, P. A. R. (2019). kajian kualitas air tanah ditinjau dari parameter ph, nilai cod dan bod pada desa teluk nilap kecamatan kubu babussalam rokan hilir provinsi riau. *Jurnal Riset Kimia*, 10(2), 103–109. <https://doi.org/10.25077/jrk.v10i2.337>
- Safitri, R., Purisari, R., & Mashudi, M. (2019). pembuatan biopori dan sumur resapan untuk mengatasi kekurangan air tanah di perumahan villa mutiara, tangerang selatan. *Agrokreatif Jurnal Ilmiah Pengabdian Kepada Masyarakat*, 5(1), 39–47. <https://doi.org/10.29244/agrokreatif.5.1.39-47>
- Septiani, Y., Aribbe, E., & Diansyah, R. (2020). analisis kualitas layanan sistem informasi akademik universitas abdurrahman terhadap kepuasan pengguna menggunakan metode sevqual. *Jurnal Teknologi Dan Open Source*, 3(1), 131–143. <https://doi.org/10.36378/jtos.v3i1.560>
- Sitompul, M., Pasaribu, H. M., & ... (2022). pemanfaatan irigasi air tanah dangkal sebagai sumber air irigasi tanah pertanian pada musim kemarau. *Jurnal Ilmiah Madiya ...*, 1(3), 14–18.
- Sri, A., Wulandari, R., Ilyas, A., Hukum, F., & Hasanuddin, U. (2019). pengelolaan sumber daya air di indonesia: tata pengurusan air dalam bingkai otonomi daerah. 6(November), 287–299. <https://doi.org/https://doi.org/10.14710/gk.2019.6750>
- Subariswanti, Hakim, A., & Suprayogi, D. (2021). analisis pola persebaran pencemaran air tanah di sekitar penambangan sumur minyak tua desa wonocolo, kedewan, bojonegoro. *Jurnal Teknik Sipil Dan Lingkungan*, 6(2), 133–142. <https://doi.org/10.29244/jsil.6.2.133-142>
- Syahputra, A., & Arifitama, B. (2022). penerapan model pembelajaran picture and picture untuk meningkatkan hasil belajar geografi pada materi siklus hidrologi siswa kelas x sma negeri alkhairat kota ternate. *UNIVERSITAS AMIKOM Yogyakarta*, 2111–2116.
- Wargadinata, E. L. (2017). kualitas pengukuran kinerja organisasi publik. *Sosiohumaniora*, 19(2), 86–94. <https://doi.org/10.24198/sosiohumaniora.v19i2.11497>
- Widiyanto, A. F., Yuniarno, S., & Kuswanto, K. (2015). polusi air tanah akibat limbah industri dan limbah rumah tangga. *Jurnal Kesehatan Masyarakat*, 10(2), 246–254. <https://doi.org/10.15294/kemas.v10i2.3388>
- Widodo, dan. (2020). analisis pengaruh intrusi air laut terhadap keberadaan air tanah di desa nusapati, kabupaten mempawah menggunakan metode geolistrik resistivitas. *Indonesian Journal of Applied Physics*, 10(2), 2089–0133.