

ANALISIS MULTIKRITERIA FAKTOR PENYEBAB INTRUSI AIR LAUT DI KOTA TERNATE

Hernita Pasongli^{1*}, Dede Sugandi², Enok Maryani³

¹Program Studi Pendidikan Geografi Universitas Pendidikan Indonesia
nitapasongli85@upi.edu, dedesugandi@upi.edu, enokmaryani@upi.edu

ABSTRAK

Abstrak: Intrusi air laut sebagai permasalahan lingkungan yang mengancam keberlanjutan sumber daya air tanah di wilayah pesisir. Air laut menyusup ke dalam lapisan air tanah, mengakibatkan peningkatan salinitas dan penurunan kualitas air tanah. Fenomena intrusi air laut terjadi di kota Ternate. Kota Ternate yang berada di gugusan kepulauan Maluku dengan luas 111,4 km² pada akhirnya bergantung pada air tanah untuk kebutuhan sehari-hari mengingat belum semua kawasan terjangkau oleh jaringan distribusi air bersih dari perusahaan daerah (PDAM) di Ternate. Dengan demikian, penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi faktor-faktor penyebab intrusi air laut secara Multikriteria meliputi faktor iklim, geologi, serta antropogenik. Metode yang digunakan adalah studi Pustaka dengan pendekatan deskriptif analitis berbasis data sekunder. Hasil kajian menunjukkan bahwa peningkatan muka air laut akibat perubahan iklim dan struktur geologi vulkanik yang permaibel, penurunan muka air tanah dan eksploitasi air tanah secara berlebihan menjadi penyebab intrusi air laut di Kota Ternate. Diperlukan pengelolaan terpadu sumber daya air tanah serta mitigasi berbasis komunitas untuk mencegah dampak lebih lanjut

Kata Kunci: *Intrusi air laut; Faktor Iklim; Geologi; Antropogenik; Kota Ternate*

Abstract: *Seawater intrusion is an environmental issue that threatens the sustainability of groundwater resources in coastal areas. Seawater infiltrates groundwater layers, leading to increased salinity and declining groundwater quality. This phenomenon occurs in Ternate City. Located within the Maluku archipelago and covering an area of 111.4 km², Ternate relies heavily on groundwater for daily needs, as many areas are still not served by the municipal water distribution network (PDAM). Therefore, this study aims to identify the multiple contributing factors to seawater intrusion, including climatic, geological, and anthropogenic factors. The method employed is a literature review using a descriptive-analytical approach based on secondary data. The findings indicate that rising sea levels due to climate change, permeable volcanic geological structures, declining groundwater levels, and excessive groundwater extraction are key drivers of seawater intrusion in Ternate. Integrated groundwater resource management and community-based mitigation efforts are urgently needed to prevent further impacts.*

Keywords: *Seawater intrusion; Climate factors; Geology; Anthropogenic; Ternate City*

Article History:

Received: 18-06-2025

Revised : 23-07-2025

Accepted: 23-07-2025

Online : 01-09-2025



*This is an open access article under the
CC-BY-SA license*

A. LATAR BELAKANG

Indonesia sebagai negara kepulauan memiliki garis pantai yang sangat panjang, yaitu sekitar 108.000 km, menjadikannya salah satu negara dengan garis pantai terpanjang di dunia. Kondisi ini membuat wilayah pesisir Indonesia sangat rentan terhadap berbagai permasalahan lingkungan, salah satunya adalah intrusi air laut (Kementerian Kelautan dan Perikanan, 2022). Intrusi air laut merupakan proses masuknya air laut ke dalam lapisan air tanah atau akuifer di wilayah daratan terutama daerah pesisir (Bhavsar & Patel, 2023; Prusty & Farooq, 2020) yang menyebabkan peningkatan kadar garam dalam air tanah dan menurunnya kualitasnya sebagai air bersih. Menurut (Gupta & Kumar Sharma, 2023), Fenomena ini terjadi karena adanya ketidakseimbangan tekanan antara air tawar di darat dan air asin dari laut di bawah permukaan tanah

Di daerah pesisir, keberadaan air laut sangat mempengaruhi kualitas air tanah. Penurunan tekanan air tanah akibat eksploitasi yang berlebihan memungkinkan air laut menyusup ke dalam akuifer, sehingga meningkatkan kadar garam dalam air tanah dan mengubahnya menjadi air payau yang tidak layak untuk dikonsumsi. Menurut (Syamsuddin et al., 2023), intrusi air laut terjadi ketika keseimbangan antara air tawar dan air asin terganggu, karena penurunan muka air tanah yang signifikan. Akuifer di kawasan pantai merupakan salah satu sumber utama air bersih yang dimanfaatkan masyarakat untuk kebutuhan sehari-hari, namun kondisi hidrogeologis di wilayah pesisir menjadikan akuifer sangat rentan terhadap intrusi air laut. Seperti dijelaskan oleh (Sahana & Waspodo, 2020), perbedaan densitas antara air laut dan air tawar menciptakan zona transisi, bukan pencampuran langsung, yang memperlihatkan batas interaksi keduanya secara vertikal dan horizontal. Pada zona ini terdapat batas yang dikenal sebagai *interface*, yaitu lapisan pertemuan antara air asin dan air tawar yang secara alami mencegah pencampuran total. Jika tekanan air tanah terus menurun, maka *interface* ini dapat bergeser ke arah daratan, dan air laut akan menyusup lebih jauh ke dalam akuifer. Melalui pemahaman ini, penulis ingin menegaskan bahwa konservasi air tanah di wilayah pesisir menjadi sangat penting untuk menjamin ketersediaan air bersih yang berkelanjutan bagi masyarakat.

Proses intrusi air laut pada akuifer menjadi semakin mengkhawatirkan seiring dengan meningkatnya eksploitasi air tanah secara berlebihan, penurunan muka tanah (*land subsidence*), serta kenaikan muka air laut akibat perubahan iklim global. Intrusi ini berdampak langsung pada penurunan ketersediaan air bersih dan secara tidak langsung mempengaruhi sektor pertanian, perikanan, serta kesehatan masyarakat. Menurut (Werner & Simmons, 2009) intrusi air laut merupakan salah satu bentuk degradasi sumber daya air yang paling sulit untuk dipulihkan, terutama di wilayah padat penduduk. Air tanah yang telah tercemar garam tidak lagi dapat dimanfaatkan secara optimal untuk irigasi atau kegiatan budidaya, dan konsumsi air payau dalam jangka panjang berpotensi menimbulkan risiko kesehatan. Beberapa kota pesisir di Indonesia telah menunjukkan dampak nyata dari fenomena ini seperti pakalongan (Sahana & Waspodo, 2020), Karangasem (Pujianiki et al., 2019), Makassar (Damayanti & Notodarmodjo, 2021;

Sugiarto, B., Hasdaryatmin, D., & Zulvyah, 2022), dan Mandalika, Lombok (Alaydrus et al., 2024) yang semuanya mengalami peningkatan kadar salinitas dalam air tanah serta penurunan kualitas lingkungan. Seperti disampaikan oleh (Sappa et al., 2015), kombinasi antara eksploitasi air tanah dan perubahan iklim mempercepat laju intrusi air laut, khususnya di wilayah pesisir dengan sistem akuifer dangkal. Oleh karena itu, intrusi air laut bukan sekadar masalah teknis, tetapi telah menjadi persoalan multidimensional yang menuntut perhatian lintas sektor demi keberlanjutan lingkungan dan kesejahteraan masyarakat pesisir.

Kota Ternate yang terletak di Provinsi Maluku Utara merupakan wilayah kepulauan vulkanik yang berada dalam zona pesisir dan memiliki kepadatan penduduk yang relatif tinggi. Topografi dikelompokkan ke dalam tiga kategori yakni Rendah (0-599 m), Sedang (500-699 m) dan Tinggi (lebih dari 700 m). Jumlah penduduk pada tahun 2024 sebanyak 207.281 jiwa. Dengan luas wilayah 162,20 Km², tekanan terhadap sumber daya alam, khususnya air tanah, semakin besar. Sebagian besar masyarakat di Kota Ternate bergantung pada air tanah untuk kebutuhan sehari-hari, karena belum semua kawasan terjangkau oleh jaringan distribusi air bersih dari perusahaan daerah (PDAM).

Sebagai sebuah pulau vulkanik kecil, Ternate memiliki keterbatasan dalam luas daerah tangkapan air, yang berdampak pada ketersediaan air tanah, terutama air tawar. Keberadaan gunung berapi di tengah pulau menyebabkan aliran air tanah mengarah dari bagian atas ke tepi pulau, menjadikan daerah pesisir sebagai tempat penampungan air tanah. Penelitian mengenai intrusi air laut di Kota Ternate telah dilakukan oleh beberapa peneliti, antara lain Parnadi & Salam, (2022), Kusrini, (2018), Robo et al. (2019), Achmad et al. (2016), Nagu et al., (2018) serta (Salnuddin et al., 2024). Hasil temuan dan pengamatan menunjukkan bahwa di sejumlah wilayah, masyarakat masih memanfaatkan air tanah dari sumur gali untuk kebutuhan rumah tangga. Namun, terdapat peningkatan keluhan dari masyarakat mengenai rasa asin pada air sumur yang digunakan, yang menandakan penurunan kualitas air tanah. Kondisi ini paling banyak ditemukan di kawasan pesisir, seperti Kelurahan Salero, Bastiong, Mangga Dua, Fitu, Tobololo, Gambesi, Takome dan Sasa. Berdasarkan pengamatan lapangan dan data dari Dinas Lingkungan Hidup, peningkatan salinitas air tanah di wilayah tersebut mengindikasikan terjadinya proses intrusi air laut.

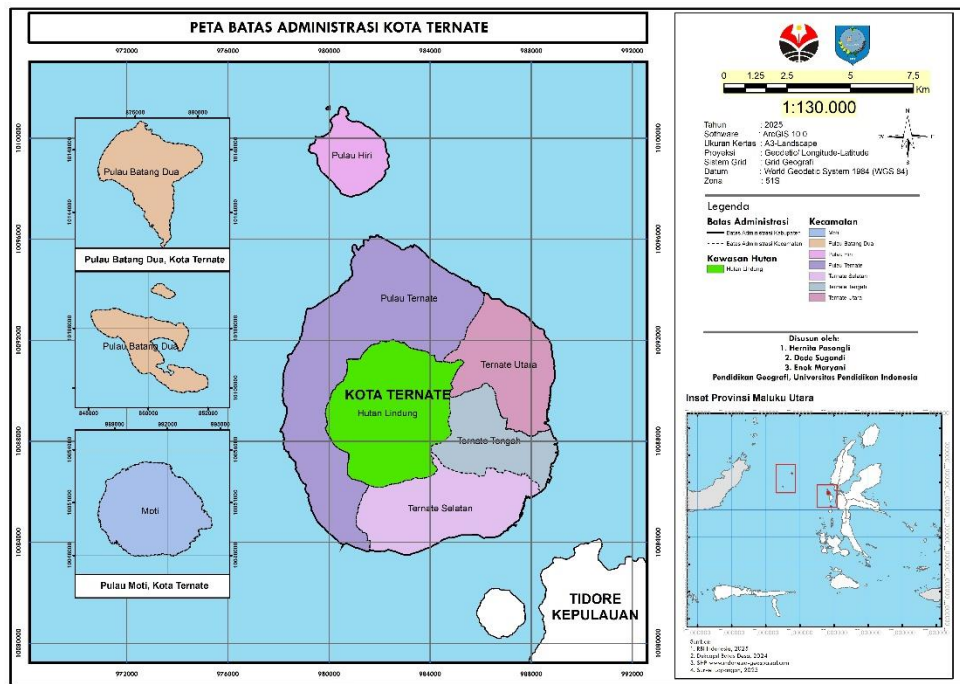
Hasil penuluruhan Nagu et al., (2018) menyebutkan bahwa sebagai sebuah pulau kecil, Ternate saat ini menghadapi berbagai permasalahan terkait sumber daya air. Pertama, menurunnya kuantitas air tanah. Pulau Ternate mengandalkan air tanah sebagai sumber air minum karena ketiadaan air permukaan di pulau ini. Badan Geologi Bandung dalam publikasinya tahun 2011 menunjukkan bahwa potensi air tanah di Pulau Ternate telah menurun kuantitasnya akibat serapan yang berlebihan oleh masyarakat. Kedua, peningkatan jumlah penduduk di Kota Ternate telah mendorong peningkatan kebutuhan air bersih. Berdasarkan data Badan Pusat Statistik (BPS) Provinsi Maluku Utara, jumlah penduduk Kota Ternate pada tahun 2020 mencapai 205.001 jiwa. Dengan asumsi tingkat konsumsi air sekitar 150 liter per orang per hari, total konsumsi air diperkirakan mencapai

11.212.555 m³ per tahun. Ketiga, intrusi air asin. Penurunan debit air tanah dan peningkatan kebutuhan air oleh semua sektor menyebabkan Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM) Kota Ternate berupaya untuk memompa air tanah agar dapat melayani pelanggan. Akibatnya, air tanah menjadi kosong dan air asin berpindah ke posisi air tawar. Penelitian di wilayah pesisir bagian utara Pulau Ternate menunjukkan bahwa intrusi air laut telah mencapai kedalaman sekitar 15 meter dari permukaan tanah, dengan nilai salinitas mencapai 3,3 ppt dan daya hantar listrik sebesar 6,1 mS/cm. Hal ini menunjukkan bahwa intrusi air laut telah mencemari akuifer dangkal di wilayah tersebut (Ahmad et al, 2016).

Permasalahan intrusi air laut di Kota Ternate merupakan isu yang kompleks dan melibatkan interaksi berbagai faktor fisik maupun manusia. Setiap wilayah di Indonesia maupun secara global memiliki karakteristik geomorfologi, hidrologi, dan penggunaan lahan yang berbeda, sehingga penyebab intrusi air laut di tiap kawasan pun cenderung bervariasi. Di beberapa wilayah, kondisi geologi dan topografi menjadi pemicu utama, sementara di wilayah lain, aktivitas manusia seperti eksploitasi air tanah secara berlebihan dan alih fungsi lahan mempercepat proses intrusi. Oleh karena itu, dibutuhkan kajian ilmiah yang komprehensif dan multidimensi guna mengidentifikasi serta menganalisis faktor-faktor penyebab intrusi air laut secara lebih spesifik berdasarkan karakteristik lokal. Oleh karena itu kajian ini sangat penting sebagai dasar dalam merumuskan pengelolaan air tanah secara berkelanjutan di wilayah pesisir Ternate. Tujuan penelitian ini bertujuan untuk mengkaji secara komprehensif faktor-faktor penyebab intrusi air laut berdasarkan pendekatan klimatologis, geologis, serta faktor antropologi di Kota Ternate.

B. METODE PELAKSANAAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan deskriptif kualitatif dengan metode studi Pustaka sebagai dasar analisis. Pendekatan deskriptif kualitatif dipilih karena memungkinkan peneliti untuk menggambarkan dan menganalisis fenomena intrusi air laut secara mendalam berdasarkan informasi yang tersedia, tanpa melakukan pengukuran kuantitatif secara langsung di lapangan. Fokus utama dari pendekatan ini adalah untuk mengeksplorasi hubungan variabel penyebab yang mempengaruhi intrusi air laut serta memahami kondisi spesifik yang terjadi di wilayah kota Ternate.



Gambar 1. Peta Batas administrasi Kota Ternate

Pengumpulan data dilakukan melalui kajian Literatur, yaitu dengan menelaah berbagai sumber sekunder yang kredibel dan relevan dengan topik penelitian. Sumber data meliputi laporan resmi dari badan meteorologi, Klimatologi dan Geofisika (BMKG) Sultan Babullah Kota Ternate seperti curah hujan dan kenaikan air laut. Jurnal-jurnal ilmiah nasional maupun internasional yang membahas intrusi air laut serta literatur akademik lain yang berkaitan dengan aspek geologi, hidrologi, dan antropogenik di wilayah pesisir.

Tahap analisis dilakukan secara kualitatif yaitu dengan mengidentifikasi pola dan keterkaitan antara berbagai faktor penyebab intrusi air laut seperti kondisi iklim, geologi, dan aktivitas manusia. Data yang diperoleh kemudian dibandingkan dan dikaji secara tematik untuk menilai bagaimana masing-masing faktor tersebut berperan dalam memicu atau memperparah intrusi air laut di Kota Ternate.

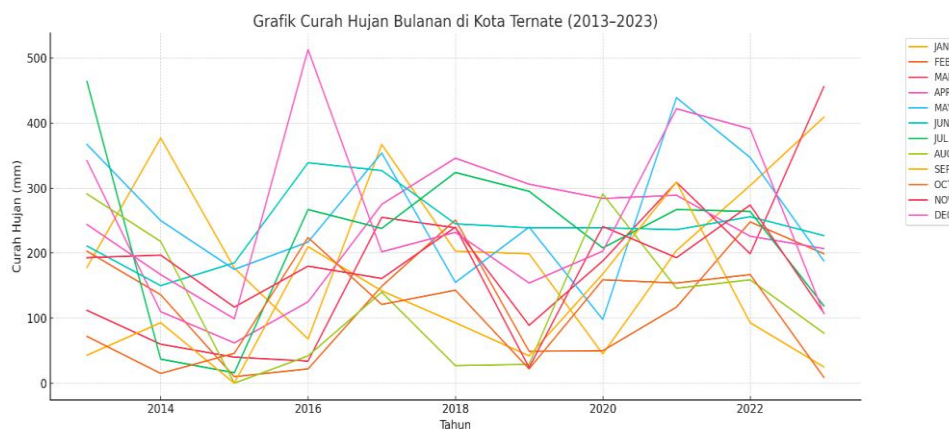
C. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Faktor-faktor penyebab intrusi air di Kota Ternate

a. Faktor Iklim

Berdasarkan data dari BMKG Kota Ternate menunjukkan fluktuasi yang cukup signifikan antar bulan dan tahun. Secara umum, pola curah hujan tertinggi terjadi pada bulan Januari hingga Mei, dengan beberapa puncak ekstrem seperti pada bulan Desember 2016 yang mencapai 513 mm dan Maret 2023 yang mencatatkan curah hujan hingga 456 mm. Sementara itu, bulan Agustus dan September secara konsisten menunjukkan angka curah hujan yang rendah, bahkan mendekati nol pada beberapa tahun seperti 2015 dan 2023. Fenomena ini mencerminkan adanya musim kemarau yang cukup panjang dan intens di pertengahan tahun. Curah hujan pada bulan Oktober hingga Desember juga tampak bervariasi, di mana pada beberapa tahun seperti 2021 dan 2022 curah

hujan cukup tinggi, namun pada tahun 2023 terjadi penurunan tajam, khususnya di bulan Oktober dengan hanya 9 mm. Pola ini mengindikasikan bahwa Kota Ternate memiliki periode basah dan kering yang cukup jelas, namun dengan intensitas yang berubah-ubah setiap tahunnya.

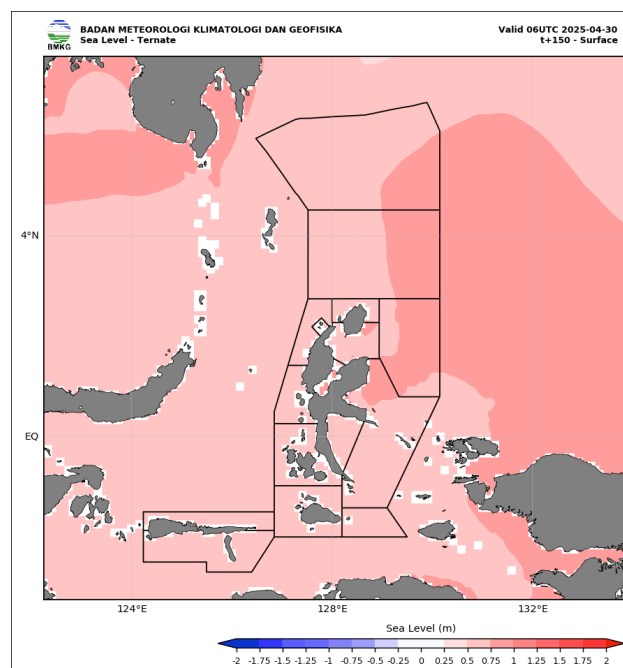


Gambar 2 Grafik curah hujan bulanan di Kota Ternate selama periode 2013-2023 (Data Curah Hujan dari BMKG)

Data curah hujan bulanan di Kota Ternate dari tahun 2013 hingga 2023 menunjukkan pola fluktuatif dengan kecenderungan menurunnya curah hujan pada bulan-bulan tertentu, khususnya antara Juli hingga Oktober. Penurunan signifikan curah hujan pada periode tersebut berdampak langsung terhadap menurunnya pengisian ulang (*recharge*) air tanah, terutama di wilayah pesisir yang sangat bergantung pada air hujan sebagai sumber utama air tawar. Ketika curah hujan rendah dalam jangka waktu lama, seperti yang terlihat pada tahun 2015 dan 2023, maka potensi terjadinya kekeringan hidrologis meningkat. Dalam kondisi ini, sumur gali dan sumber air tanah lainnya tidak mampu memenuhi kebutuhan masyarakat, sehingga tekanan air tanah menurun drastis. (Lessy et al., 2025) menemukan bahwa pola curah hujan di daerah Kota Ternate selama 10 tahun dari tahun 2005 sampai dengan 2015 mengalami fluktuasi dan menunjukkan di bawah kedalaman 20 meter tidak ditemukan air tawar dan telah terjadi intrusi air laut hal ini dikarenakan kemarau terjadi pada tahun 2014 sampai dengan tahun 2015. Dengan adanya hasil penelitian di atas maka penurunan curah hujan musiman dan kekeringan berkepanjangan menjadi faktor kunci yang mempercepat degradasi kualitas airtanah di Kota Ternate, sehingga memerlukan upaya mitigasi dan pengelolaan sumber daya air yang lebih adaptif dan berkelanjutan.

Selain itu perubahan iklim juga dapat mengakibatkan kenaikan muka air laut (*sea level rise*). (Chiang et al., 2012) melakukan simulasi dengan memodelkan kenaikan muka air laut menggunakan klorida dengan konsentrasi 100% dan 60% pada tiga skenario: 0,6 meter, 0,9 meter, dan 1,2 meter. Hasil yang diperoleh menyebutkan bahwa permukaan air laut diperkirakan akan naik antara 0,6 hingga 2,1 meter hingga pada tahun 2100. Selaras dengan pernyataan (Dong et al., 2024) perubahan iklim mempercepat erosi pantai melalui kenaikan muka laut, badai, dan pola monsun. Sea level rise ini dapat berpengaruh signifikan terhadap kualitas air tanah di wilayah pesisir.

Hasil penelitian (Achmad et al., 2016) terdapat penyusupan air laut di Desa Tobolo dan Sulamadaha, dengan rentang nilai masing-masing antara 0,5-3,3 mS/cm dan 0,2-1,7 ppt. Hasil pengukuran dengan menggunakan geolistrik menunjukkan batas kontak airtanah dengan air laut rata-rata antara 12-15 m dari permukaan. Nilai resistivitas air laut berkisar antara 0,01-20 Ω m. Hasil penelitian ini memberikan peringatan untuk tidak melakukan pengeboran sumur di wilayah pesisir. Selain itu peta tinggi muka laut wilayah Ternate yang dirilis oleh BMKG pada tanggal 30 April 2025, gambar 1 menunjukkan sebagian besar wilayah perairan sekitar Ternate mengalami kenaikan muka laut dengan intensitas antara 0,25 hingga lebih dari 1 meter di atas rata-rata normal. Kenaikan ini tercermin dari dominasi warna merah muda hingga merah pada peta, yang mengindikasikan kondisi anomali positif permukaan laut. Fenomena ini berpotensi memperbesar risiko intrusi air laut ke wilayah pesisir Kota Ternate. Menurut hasil penelitian (Zamrsky et al., 2024) menyebutkan Kenaikan muka laut diperkirakan akan menyebabkan lebih dari 60 juta orang yang tinggal dalam radius 10 km dari garis pantai kehilangan lebih dari 5% cadangan air tanah tawar mereka pada tahun 2100 dalam skenario RCP 8.5, dibandingkan hanya sekitar 8 juta orang pada skenario RCP 2.6.



Gambar 3 Peta Sea Level Maluku Utara tahun bulan April 2025
(Peta Sea Level Maluku Utara, 2025)

Proses *recharge* atau pengisian ulang air tanah merupakan mekanisme penting dalam menjaga keseimbangan ketersediaan air tanah, terutama di wilayah pesisir seperti Kota Ternate yang sangat bergantung pada curah hujan sebagai sumber utama air tawar. Namun, fenomena perubahan iklim telah menyebabkan gangguan terhadap proses ini. Fluktuasi curah hujan yang cukup ekstrem dari tahun ke tahun, sebagaimana tercatat dalam data BMKG Kota Ternate selama periode 2013–2023, menunjukkan kecenderungan menurunnya curah hujan pada bulan-bulan kering, khususnya antara Juli hingga Oktober. Kondisi ini

mengakibatkan penurunan signifikan terhadap proses pengisian ulang air tanah, terutama di kawasan pesisir yang memiliki akuifer dangkal. Kekeringan berkepanjangan seperti yang terjadi pada tahun 2015 dan 2023 semakin memperparah situasi, di mana tekanan air tanah menurun dan sumur tidak mampu lagi mencukupi kebutuhan masyarakat. Hasil penelitian Rahim dkk (2016) di wilayah Tobolo dan Sulamadaha menguatkan temuan ini, dengan batas intrusi air laut yang dangkal serta nilai resistivitas yang rendah, menunjukkan telah terjadi kontaminasi signifikan. Dengan berkurangnya curah hujan dan meningkatnya tekanan dari air laut, proses recharge tidak mampu lagi menahan laju intrusi, sehingga ancaman terhadap keberlanjutan sumber air bersih di Kota Ternate menjadi semakin nyata.

b. Faktor Geologi

Intrusi air laut sangat dipengaruhi oleh karakteristik geologi bawah permukaan, terutama struktur dan tipe akuifer. Di Pulau Ternate, akuifer di susun dari pasir, kerikil atau batuan berpori tinggi. Menurut (Kresic & Stevanovic, 2010) Sistem akuifer, yang merupakan pulau gunungapi berukuran kecil serta bekerja melalui mekanisme aliran air tanah yang dipengaruhi oleh porositas antarbutir maupun sistem rekahan. Kondisi geologi vulkanik pulau Ternate terdiri atas batuan berpori seperti basalt dan andesit (Salam, 2024 & Daud, 2022). Batuan ini memungkinkan terjadinya perembesan air laut ke dalam akuifer dangkal, terutama di daerah pesisir yang topografinya rendah.

Hasil penelitian (Achmad et al., 2016) menyebutkan kondisi akuifer di bagian utara pulau Ternate sangat rentan terjadi penyusutan air laut, hal ini disebabkan karena pengambilan air tanah tanpa memperhitungkan kemampuan batuan dan faktor penyebab terjadinya intrusi air laut seperti transmisivitas, storovitas, porositas dan permeabilitas. faktor tersebut menentukan berapa besar volume air tanah yang dapat disimpan dan dialirkan oleh akuifer. seperti penjelasan (Barlow & Reichard, 2010) Transmisivitas menggambarkan kemampuan akuifer untuk mengalirkan air dalam jumlah besar, sementara storativity menunjukkan kapasitas akuifer untuk menyimpan air dalam pori-porinya. jika *Transmisivitis* dan *Storativity* rendah, maka pengambilan air tanah yang berlebihan akan cepat menyebabkan penurunan muka airtanah. Porositas (persentase volume ruang kosong dalam batuan) dan permeabilitas (kemampuan batuan mengalirkan air) juga menentukan seberapa cepat akuifer dapat mengisi kembali setelah dieksploitasi. Apabila kondisi batuan dengan porositas dan permeabilitas rendah, proses recharge sangat lambat, sehingga ketika eksploitasi melebihi kapasitas alami akuifer, tekanan air tanah menurun tajam dan membuka peluang bagi air laut untuk masuk ke dalam sistem akuifer. Jika eksploitasi air tanah tidak mempertimbangkan faktor-faktor di atas, maka wilayah pesisir, termasuk kawasan utara Pulau Ternate, akan menjadi sangat rentan terhadap kerusakan sumber daya airtanah.

Penelitian (Daud et al., 2022) menggunakan pengukuran geolistrik dan pengamatan lapangan di wilayah Pulau Ternate, khususnya di lereng Gunung Gamalama dan sekitarnya, memiliki dua sistem akuifer utama yaitu akuifer bebas dan akuifer tertekan, dengan karakteristik geologis yang berbeda-beda. Akuifer

bebas umumnya tersebar di dataran tenggara dan selatan lereng gunung dengan nilai resistivitas 13–65 ohm-meter dan ketebalan bervariasi, mengikuti morfologi lereng dan daerah pengendapan. Air tanah bebas airtanah yang tersimpan dalam lapisan akuifer yang tidak terdapat lapisan kedap air di atasnya. Sementara itu, akuifer tertekan ditemukan di wilayah seperti Kastella dan Sasa Kecil, dengan nilai resistivitas antara 15–95 ohm-meter, dan memiliki muka air tanah yang lebih dangkal akibat tekanan yang tinggi. Sistem ini dibatasi oleh lapisan isolasi di atas dan bawahnya, dan tersusun dari batuan seperti tuf berpasir dan lava vesikuler dari endapan stratovulkano Gamalama. Keberagaman struktur geologi dan karakteristik akuifer ini mencerminkan kompleksitas sistem hidrogeologi di wilayah Ternate. Menurut Salam, 2018 Sumber utama air baku Pulau Ternate adalah air tanah bebas, air tanah dalam dan mata air.

c. Faktor Antropogenik

Antropogenik adalah istilah yang merujuk pada segala sesuatu yang berasal dari atau disebabkan oleh aktivitas manusia. Dalam konteks lingkungan, faktor antropogenik dapat diartikan segala bentuk perubahan atau dampak terhadap lingkungan yang ditimbulkan oleh kegiatan manusia. Faktor antropogenik bisa mencakup Pembangunan sumur bor yang tidak terkendali, penggunaan air tanah secara berlebihan yang mempercepat terjadinya intrusi dan Pembangunan di wilayah pesisir. Pertumbuhan penduduk yang pesat dan urbanisasi yang terus berkembang di wilayah pesisir meningkatkan kebutuhan akan air bersih untuk keperluan rumah tangga, komersial, dan industri (Karim, 2018) . Akibat keterbatasan sistem distribusi air bersih, masyarakat cenderung mengandalkan air tanah melalui sumur gali atau sumur bor.

Hasil penelitian Rahim, 2016 menyebutkan bahwa pengeboran airtanah di Pulau Ternate telah berlangsung selama bertahun-tahun tanpa disertai pengawasan dan evaluasi yang ketat terhadap daya dukung akuifer. Aktivitas ini menyebabkan terjadinya penurunan muka airtanah secara signifikan, terutama di wilayah pesisir yang padat penduduk. Seiring waktu, kondisi ini memicu terjadinya intrusi air laut, karena tekanan airtanah yang menurun tidak lagi mampu menahan pergerakan air asin ke daratan. Pengeboran sumur yang dilakukan terlalu dalam dan dekat dengan garis pantai memperparah kondisi tersebut, di mana zona transisi antara air tawar dan air asin menjadi semakin dangkal. Temuan ini sejalan dengan hasil survei geolistrik yang menunjukkan bahwa antarmuka air laut-air tawar berada pada kedalaman kurang dari 10 meter, menjadikan sistem akuifer di Pulau Ternate sangat rentan terhadap degradasi kualitas air tanah.

Aktivitas antropogenik terhadap ekosistem mangrove menjadi salah satu faktor penting dalam mempercepat terjadinya intrusi air laut. Seperti alih fungsi lahan untuk pemukiman, industri dan tambak telah menjadi degradasi dan hilangnya Kawasan mangrove secara signifikan di wilayah pesisir Pantai. Sebagai bukti nyata aktivitas antropogenik secara nyata di Kawasan pulau Ternate dengan mempercepat degradasi mangrove adalah Pembangunan pemukiman, pembuatan jalan raya, perluasan Pelabuhan dan pariwisata. Dengan adanya aktivitas antropogenik ini fungsi penghalang alami terhadap air asin pun melemah (Hilmi et al.,

2017) menyebutkan tanpa pelindung alami, tanah pesisir menjadi lebih terpapar langsung terhadap tekanan air laut, yang kemudian memfasilitasi intrusi air laut ke dalam aquifer dangkal. Temuan ini dikuatkan oleh (Richards & Friess, 2016) bahwa wilayah pesisir yang mengalami penurunan tutupan mangrove lebih cepat mengalami peningkatan salinitas air tanah dibandingkan wilayah yang masih memiliki hutan mangrove yang sehat.

Untuk memahami secara menyeluruh dinamika intrusi air laut di Kota Ternate, diperlukan identifikasi terhadap berbagai faktor penyebab, dampak yang ditimbulkan, serta solusi strategis yang dapat diterapkan. Intrusi air laut tidak hanya disebabkan oleh satu aspek tunggal, melainkan merupakan hasil interaksi kompleks antara faktor iklim, geologi, dan aktivitas manusia (antropogenik). Masing-masing faktor tersebut berkontribusi secara langsung maupun tidak langsung terhadap percepatan perembesan air laut ke dalam sistem akuifer, khususnya di wilayah pesisir yang memiliki karakteristik geologi dan hidrologi yang rentan.

Tabel berikut merangkum tiga aspek utama yang memengaruhi intrusi air laut di Kota Ternate, yaitu faktor iklim, geologi, dan antropogenik. Dalam tabel ini disajikan temuan-temuan utama berdasarkan hasil penelitian dan pengamatan lapangan, dampak yang ditimbulkan dari masing-masing faktor, serta rekomendasi solusi yang dapat dijadikan dasar dalam merumuskan kebijakan mitigasi dan pengelolaan sumber daya airtanah secara berkelanjutan

Tabel 1. Analisis Faktor Penyebab Intrusi Air Laut serta Dampaknya terhadap Airtanah Pesisir dan Rekomendasi Solusi

Aspek	Temuan Utama	Dampak	Rekomendasi Solusi
Faktor Iklim	Penurunan curah hujan musiman (Juli–Oktober), musim kemarau panjang (2015 & 2023), kenaikan muka laut (hingga +2 meter)	Recharge airtanah menurun, tekanan air tanah melemah, mempercepat intrusi air laut	Mitigasi perubahan iklim lokal, pembangunan sumur resapan, pemanenan air hujan (rainwater harvesting)
Faktor Geologi	Struktur batuan vulkanik (basalt, andesit) dengan porositas tinggi dan banyak rekahan; akuifer dangkal di pesisir	Air laut mudah merembes ke dalam akuifer, antarmuka air laut-air tawar hanya pada kedalaman 12–15 m	Pemanfaatan metode geolistrik dan hidrogeokimia untuk pemetaan zona rentan; pelarangan pengeboran sumur dalam dekat garis pantai
Faktor Antropogenik	Eksplorasi airtanah berlebihan, pembangunan sumur bor tidak terkendali, konversi hutan mangrove untuk permukiman dan	Penurunan muka airtanah, zona transisi semakin dangkal, kehilangan pelindung alami dari mangrove	Regulasi pengeboran airtanah, pemulihan ekosistem mangrove, edukasi

pelabuhan	masyarakat tentang konservasi sumber daya air
-----------	--

B. Alternatif Solusi

Intrusi air laut merupakan ancaman serius bagi keberlanjutan sumber daya airtanah, terutama di wilayah pesisir yang memiliki keterbatasan sumber air tawar seperti Pulau Ternate. Kondisi ini menuntut adanya upaya konkret untuk mengurangi dampak negatif yang ditimbulkan. Untuk menghadapi kondisi intrusi air laut di Kota Ternate, maka diperlukan berbagai upaya mitigasi dan adaptasi tepat guna untuk menjaga kelangsungan terhadap air tawar di wilayah terdampak. Dalam kajian ini, penulis ingin mengungkapkan beberapa alternatif solusi yang telah direkomendasikan oleh peneliti di berbagai daerah. Solusi-solusi tersebut mencakup pendekatan yang beragam, mulai dari kebijakan berbasis komunitas hingga inovasi teknologi yang dapat mendukung pembangunan yang berkelanjutan. Harapannya, rekomendasi ini dapat dijadikan bahan pertimbangan bagi Pemerintah Kota Ternate dalam merumuskan kebijakan yang sesuai dengan karakteristik wilayah.

Penelusuran dari beberapa artikel pemerintah kota ternate telah membangun sumur resapan dan Drainase Berbasis Resapan Air oleh Dinas Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (PUPR) di kawasan Ternate Tengah. Tujuan utamanya adalah mengurangi volume air hujan yang langsung mengalir ke laut. Selain itu, sumur resapan juga dibangun di setiap kecamatan untuk menjaga ketersediaan air tanah dan mencegah krisis air di masa depan. dari Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat juga, merencanakan revitalisasi sumber Ake Gaale dengan membuat sumur resapan, talud, dan saluran untuk menahan intrusi air laut ke lokasi tersebut. (Salnuddin et al., 2024) menyebutkan Kota ternate rentang dengan intrusi air laut oleh karena itu diperlukan pengembangan alternatif sumber air seperti air hujan yang ditampung (*rainwater harvesting*) untuk mengurangi beban eksploitasi airtanah. Komunitas Peduli Air Hujan (KOPIAH) dan Gerakan Memanen dan menabung air hujan Kecamatan Ternate Utara (Gemma Camrata) telah melakukan sosialisasi, simulasi, kampanye dan membangun instalasi pemanfaatan air hujan di Kecamatan Maluku Utara (Mohbir et el, 2019) akan tetapi komunitas dan Gerakan ini di laksanakan di wilayah yang memiliki ketinggian 500-699 m. dan ini belum menyelesaikan krisis air di wilayah pesisir Kota Ternate. Rekomendasi Ahmad, 2016 di Wilayah Ternate Utara batas aman pengeboran sumur sekitar wilayah pesisir pantai di bagian utara Pulau Ternate, adalah tidak lebih dari 10 m. Temuannya Kelurahan Takome menggunakan sumur dengan pengeboran sumur hingga 80 m dengan jarak 250 m dari garis pantai, hasil menunjukkan bahwa sumur bor telah melewati zona pencampuran antara air tanah dengan air laut (*interface*) dan memberikan peringatan untuk tidak melakukan pengeboran sumur di wilayah pesisir. Untuk mengetahui kondisi air tanah di Kota Ternate secara menyeluruh, dapat digunakan

berbagai metode, (Trabelsi et al., 2022) memperkenalkan hidrogeokimia, geofisika, model matematika, Sistem Informasi Geografis (SIG), atau metode numerik (Liang et al., 2013). Metode gaya berat antar waktu, deteksi mikroba, dan geolistrik dalam mendeteksi intrusi air laut (Duque et al., 2008). Serta, evaluasi pemetaan kerentanan seperti DRASTIC juga dapat dimanfaatkan untuk mengidentifikasi zona risiko tinggi terhadap kontaminasi air tanah. (Barbulescu, 2020) mengemukakan bahwa Metode seperti DRASTIC digunakan secara luas karena praktis dan membantu menentukan area yang rentan terhadap pencemaran air tanah, sehingga penting untuk perencanaan pengelolaan dan perlindungan kualitas air.

Intrusi air laut telah berdampak nyata terhadap keberlangsungan hidup masyarakat dan lingkungan di pesisir, termasuk Kota Ternate, maka penanganannya harus dilakukan secara kolaboratif dan lintas sektor. Pendekatan teknis saja tidak cukup. Pemerintah daerah perlu menetapkan regulasi yang membatasi eksploitasi air tanah, terutama di zona pesisir yang rentan, serta menetapkan kawasan konservasi berdasarkan peta kerentanan yang dihasilkan dari kajian geofisika dan geolistrik. Sebagai solusi jangka menengah dan panjang, pengembangan alternatif sumber air bersih seperti sistem pemanenan air hujan (*rainwater harvesting*) dan instalasi desalinasi skala kecil perlu segera dilakukan untuk mengurangi ketergantungan terhadap air tanah. Upaya-upaya ini harus didukung oleh kebijakan yang kuat, edukasi masyarakat, dan sinergi antar sektor agar pengelolaan sumber daya air di wilayah pesisir menjadi lebih berkelanjutan.

Di sisi lain, masyarakat juga memiliki peran penting, yaitu dengan mengurangi eksploitasi airtanah melalui pemanfaatan teknologi konservasi seperti lubang biopori dan sumur resapan, serta meningkatkan kesadaran lingkungan melalui edukasi dan pelatihan (Alhogbi, 2017; Sembel & Rondonuwu, 2016). Institusi pendidikan dan peneliti dapat mendorong pemanfaatan metode hidrogeokimia, geolistrik, dan model numerik untuk memprediksi dan memantau penyebaran intrusi air laut secara ilmiah dan berkelanjutan. Sementara itu, sektor swasta dan lembaga non-pemerintah dapat terlibat melalui program tanggung jawab sosial perusahaan (CSR), khususnya dalam pembangunan infrastruktur hijau dan pengelolaan sumber daya air yang berkelanjutan.

D. SIMPULAN DAN SARAN

Intrusi air laut di Kota Ternate merupakan persoalan lingkungan multidimensi yang dipicu oleh interaksi antara faktor iklim, geologi, hidrologi, dan aktivitas manusia (antropogenik). Kondisi ini semakin diperparah oleh perubahan iklim global yang menyebabkan naiknya muka air laut dan menurunnya curah hujan musiman, sehingga menghambat proses pengisian ulang airtanah. Secara geologis, struktur batuan vulkanik yang poros dan berrekahan, serta kedangkalan sistem akuifer, menjadikan wilayah pesisir Kota Ternate terutama bagian utara sangat rentan terhadap intrusi air laut. Eksploitasi airtanah yang tidak terkendali tanpa memperhitungkan kapasitas hidrogeologi seperti transmisivitas, porositas, dan permeabilitas akuifer turut mempercepat laju perembesan air laut ke dalam sistem airtanah.

Hasil survei geolistrik menunjukkan bahwa batas antara air tawar dan air laut (antarmuka) telah bergeser mendekati daratan dan berada pada kedalaman kurang dari 15 meter, yang berdampak pada penurunan kualitas airtanah. Di beberapa wilayah seperti Kelurahan Sasa, Bastiong, dan Mangga Dua, masyarakat mengeluhkan air sumur yang mulai terasa asin. Kondisi ini diperburuk oleh kerusakan ekosistem mangrove yang seharusnya berfungsi sebagai pelindung alami terhadap intrusi air laut. Upaya awal seperti pembangunan sumur resapan dan pemanfaatan air hujan telah dilakukan, namun masih terbatas. Oleh karena itu, pengelolaan intrusi air laut di wilayah pesisir memerlukan kolaborasi lintas sektor, dengan prioritas pada pengendalian eksploitasi airtanah, pemetaan zona konservasi berbasis kajian geolistrik, serta peningkatan edukasi kepada masyarakat. Selain itu, pengembangan sistem alternatif seperti pemanenan air hujan dan teknologi desalinasi skala kecil perlu didorong untuk menjamin keberlanjutan sumber daya air bersih di kawasan pesisir Ternate.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis Ucapkan terimakasih kepada Dosen pengampuh Matakuliah Kajian Inti Bidang Geografi dan Departemen Pendidikan Geografi Universitas Pendidikan Indonesia telah memberikan pengetahuan dan pembelajaran yang bermanfaat sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas ini

DAFTAR RUJUKAN

- Achmad, R., Hadi, M. P., & Purnama, S. (2016). KERENTANAN PENYUSUPAN AIR LAUT DI PESISIR UTARA PULAU TERNATE (Vulnerability of Sea Water Intrusion in Northern Coastal of Ternate Island). *Jurnal Manusia Dan Lingkungan*, 23(2). <https://doi.org/10.22146/jml.18787>
- Alaydrus, A. T., Susilo, A., Naba, A., Minardi, S., & Azhari, A. P. (2024). Investigation of Seawater Intrusion in Mandalika, Lombok, Indonesia Using Time-Lapse Geoelectrical Resistivity Survey. *International Journal of Design and Nature and Ecodynamics*, 19(1). <https://doi.org/10.18280/ijdne.190101>
- Alhogbi, B. G. (2017). Pemberdayaan Masyarakat Dalam Peningkatan Kualitas Lingkungan Permukiman Melalui Pelatihan Dan Pembuatan Lubang Resapan Biopori. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9).
- Barbulescu, A. (2020). Assessing Groundwater Vulnerability: DRASTIC and DRASTIC-Like Methods: A Review. *Water*, 12(5), 1356. <https://doi.org/10.3390/w12051356>
- Barlow, P. M., & Reichard, E. G. (2010). Saltwater intrusion in coastal regions of North America. *Hydrogeology Journal*, 18(1). <https://doi.org/10.1007/s10040-009-0514-3>
- Bhavsar, Z., & Patel, J. (2023). Understanding efficient seawater intrusion assessment in coastal region of India: a methodological review. *International Journal of Hydrology Science and Technology*, 16(4). <https://doi.org/10.1504/IJHST.2023.134626>
- Chiang, Y. W., Santos, R. M., Ghyselbrecht, K., Cappuyns, V., Martens, J. A., Swennen, R., Van Gerven, T., & Meesschaert, B. (2012). Strategic selection of an optimal sorbent mixture for in-situ remediation of heavy metal contaminated sediments: Framework and case study. *Journal of Environmental Management*, 105, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2012.03.037>
- Damayanti, A. D., & Notodarmodjo, S. (2021). Metode G-ALDIT dan G-ALDITLcR untuk Evaluasi Kerentanan Air Tanah Dangkal Akibat Pengaruh Intrusi Air Laut (Studi Kasus: Air Tanah Dangkal Kawasan Pesisir Bagian Utara dan Selatan Kota Makassar). *Jurnal Lingkungan Dan Bencana Geologi*, 12(2). <https://doi.org/10.34126/jlbg.v12i2.368>
- Daud, K., Pramodyo, H., Afandhi, A., & Tama, I. P. (2022). HYDROGEOCHEMICAL CHARACTER AND GROUNDWATER POTENTIAL IN TERNATE BASIN, NORTH

- MALUKU, INDONESIA. *Journal of Southwest Jiaotong University*, 57(3).
<https://doi.org/10.35741/issn.0258-2724.57.3.40>
- Dong, W. S., Ismailluddin, A., Yun, L. S., Ariffin, E. H., Saengsupavanich, C., Abdul Maulud, K. N., Ramli, M. Z., Miskon, M. F., Jeofry, M. H., Mohamed, J., Mohd, F. A., Hamzah, S. B., & Yunus, K. (2024). The impact of climate change on coastal erosion in Southeast Asia and the compelling need to establish robust adaptation strategies. In *Heliyon* (Vol. 10, Issue 4). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e25609>
- Duque, C., Calvache, M. L., Pedrera, A., Martín-Rosales, W., & López-Chicano, M. (2008). Combined time domain electromagnetic soundings and gravimetry to determine marine intrusion in a detrital coastal aquifer (Southern Spain). *Journal of Hydrology*, 349(3–4). <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2007.11.031>
- Gupta, R., & Kumar Sharma, P. (2023). A review of groundwater-surface water interaction studies in India. In *Journal of Hydrology* (Vol. 621). <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2023.129592>
- Hilmi, E., Kusmana, C., Suhendang, E., & Iskandar. (2017). Correlation Analysis Between Seawater Intrusion and Mangrove Greenbelt. *Indonesian Journal of Forestry Research*, 4(2). <https://doi.org/10.20886/ijfr.2017.4.2.151-168>
- Karim, N. (2018). Analisis Faktor Penyebab Tumbuhnya Permukiman Kumuh di Kawasan Pesisir Kelurahan Mangga Dua Kecamatan Ternate Selatan Kota Ternate. Universitas Bosowa.
- Kusrini, K. (2018). Sebaran Air Tanah Dangkal Di Permukaan Sekitar Pantai Kecamatan Ternate Utara Kota Ternate Kusrini. *GeoCivic*, 1(2), 101–108.
- Kresic, N., & Stevanovic, Z. (2010). Groundwater Hydrology of Springs. In *Groundwater Hydrology of Springs*. <https://doi.org/10.1016/C2009-0-19145-6>
- Lessy, M. R., Lassa, J., & Zander, K. K. (2025). Development of small island vulnerability index to achieve sustainable development goals: Insight from Ternate Volcanic Island, Indonesia. *Environmental Challenges*, 19, 101132. <https://doi.org/10.1016/j.envc.2025.101132>
- Liang, X., Quan, D., Jin, M., Liu, Y., & Zhang, R. (2013). Numerical simulation of groundwater flow patterns using flux as upper boundary. *Hydrological Processes*, 27(24). <https://doi.org/10.1002/hyp.9477>
- Nagu, N., Lessy, M. R., & Achmad, R. (2018). Adaptation Strategy of Climate Change Impact on Water Resources in Small Island Coastal Areas: Case Study on Ternate Island-North Maluku. *KnE Social Sciences*, 3(5), 424. <https://doi.org/10.18502/kss.v3i5.2347>
- Parnadi, W. W., & Salam, R. (2022). Identifikasi Akuifer Air Tanah Di Kaki Gunung Api Gamalama Pulau Ternate Menggunakan Data Geolistrik Tahanan Jenis 2-Dimensi. *JFT: Jurnal Fisika Dan Terapannya*, 9(2), 65–78. <https://doi.org/10.24252/jft.v9i2.33725>
- Peta Sea Level Maluku Utara*. (2025). Badan Meteorologi, Klimatologi, Dan Geofisika.
- Prusty, P., & Farooq, S. H. (2020). Seawater intrusion in the coastal aquifers of India - A review. In *HydroResearch* (Vol. 3). <https://doi.org/10.1016/j.hydres.2020.06.001>
- Pujianiki, N. N., Dharma, G. B. S., & Wijayantari, I. A. M. (2019). Analisis Intrusi Air Laut Pada Sumur Gali Di Kawasan Candidasa Karangasem. *Jurnal Spektran*, 7(1).
- Richards, D. R., & Friess, D. A. (2016). Rates and drivers of mangrove deforestation in Southeast Asia, 2000-2012. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 113(2). <https://doi.org/10.1073/pnas.1510272113>
- Sahana, M. I., & Waspodo, R. S. B. (2020). Mapping of Seawater Intrusion into Coastal Aquifer: A Case Study of Pekalongan Coastal Area in Central Java. *Journal of the Civil Engineering Forum*, 6(1). <https://doi.org/10.22146/jcef.53736>
- Salnuddin, S., Bemba, J., Harahap, Z. A., Kader, M. F., Wahidin, N., Ichsan, K. H., & Taeran, I. (2024). Pengaruh Pergerakan Pasang Surut terhadap Perubahan Kualitas Air Sumur Gali Masyarakat di Pesisir Kelurahan Fitu – Kota Ternate Selatan. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 22(3), 781–792. <https://doi.org/10.14710/jil.22.3.781-792>
- Sappa, G., Ergul, S., Ferranti, F., Sweya, L. N., & Luciani, G. (2015). Effects of seasonal change and seawater intrusion on water quality for drinking and irrigation purposes, in

- coastal aquifers of Dar es Salaam, Tanzania. *Journal of African Earth Sciences*, 105. <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2015.02.007>
- Sembel, A., & Rondonuwu, D. (2016). Kualitas Lingkungan Melalui Pembuatan Lubang Resapan Biopori. *Media Matrasain*, 13(3).
- Sugiarto, B., Hasdaryatmin, D., & Zulvyah, F. (2022). Penelitian Nasional/ Penelitian Produk Vokasi (P2V): Analisis Potensi dan Desain Proteksi Air Tanah Kota Makassar. In *Proposal* (Vol. 1, Issue 1).
- Syamsuddin, S., Fajar, M., Wirawan, A. H., Salsabila, N., Rezky, R., Massinai, M. F. I., Selfiana, S., & Harimei, B. (2023). Determination of Seawater Intrusion Zones Using the Resistivity Method in Kelurahan Soreang, Maros District, South Sulawesi Province. *JURNAL GEOCELEBES*. <https://doi.org/10.20956/geocelebes.v7i2.23710>
- Robo, Tamrin., Sofyan, Adnan & Banapon, Juananda. 2019. Kajian Instruksi Air Laut Terhadap Kualitas Air Tanah di kelurahan Gambesi Kecamatan Ternate Selatan Kota Ternate. *Jurnal Wahana Informasi Pengembangan Profesi dan Ilmu Geografi (Pangea)*. 1 (1).
- Trabelsi, N., Hentati, I., Triki, I., Zairi, M., & Banton, O. (2022). A GIS-Agriflux Modeling and AHP Techniques for Groundwater Potential Zones Mapping. *Journal of Geographic Information System*, 14(02). <https://doi.org/10.4236/jgis.2022.142007>
- Werner, A. D., & Simmons, C. T. (2009). Impact of sea-level rise on sea water intrusion in coastal aquifers. *Ground Water*, 47(2). <https://doi.org/10.1111/j.1745-6584.2008.00535.x>
- Zamrsky, D., Oude Essink, G. H. P., & Bierkens, M. F. P. (2024). Global Impact of Sea Level Rise on Coastal Fresh Groundwater Resources. *Earth's Future*, 12(1). <https://doi.org/10.1029/2023EF003581>