

HUBUNGAN SPASIAL PARAMETER GEOLOGI BAWAH PERMUKAAN DAN KUALITAS AIR TANAH UNTUK MEMAHAMI INTRUSI AIR LAUT DI CEKUNGAN SEMARANG

Marsya Nindia^{1*}, Athira Farah Fathania Hanum¹, Lies Tsiqoyati Rohmah²

¹Program Studi Geologi, Universitas Indonesia

²Program Studi Teknik Industri, Universitas Pamulang

*marsnindi@gmail.com

Pemasukan: 3 Nopember 2025 Perbaikan: 22 Juni 2026 Diterima: 24 Juni 2026

Intisari

Intrusi air laut merupakan salah satu bentuk degradasi kualitas air tanah yang paling signifikan di wilayah pesisir, khususnya di kota-kota besar seperti Semarang. Peningkatan kebutuhan air bersih akibat pertumbuhan penduduk dan aktivitas industri di wilayah pesisir telah menyebabkan tekanan berlebih terhadap akuifer, yang pada akhirnya membuka peluang bagi air laut untuk meresap ke dalam sistem air tanah. Cekungan Semarang, sebagai zona akumulasi sedimen berpori tinggi, menjadi lokasi yang rentan terhadap fenomena ini karena karakter litologi dan keberadaan struktur geologi aktif. Penelitian ini bertujuan untuk memahami hubungan spasial antara parameter geologi bawah permukaan dan kualitas air tanah dalam konteks intrusi air laut. Penelitian dilakukan dengan pendekatan deskriptif dan spasial berbasis data sekunder, termasuk peta geologi, anomali gravitasi, peta salinitas tahun 2016 dan 2022, serta tren kadar klorida dari 1992 hingga 2011. Analisis menggunakan perangkat lunak ArcGIS dilakukan untuk mengidentifikasi korelasi antara struktur geologi, jenis litologi, dan persebaran zona air asin. Hasil studi menunjukkan bahwa intrusi air laut berkembang mengikuti arah struktur sesar aktif dan litologi yang permeabel di dalam cekungan, dengan ekspansi zona salinitas tinggi (>1000 mg/L) dari utara ke tengah Semarang dalam rentang enam tahun. Tren historis peningkatan kadar klorida juga memperkuat indikasi bahwa proses intrusi berlangsung secara progresif. Temuan ini menggarisbawahi perlunya pemantauan kualitas air tanah yang berkelanjutan dan perlindungan zona recharge akuifer sebagai langkah mitigasi terhadap penyebaran intrusi air laut di wilayah pesisir yang padat aktivitas.

Kata Kunci: Intrusi Air Laut, Cekungan Semarang, Geologi bawah permukaan, Salinitas air tanah, Analisis spasial deskriptif

Latar Belakang

Intrusi air laut telah menjadi ancaman lingkungan yang semakin serius di kawasan pesisir tropis, terutama pada wilayah dengan pertumbuhan penduduk dan aktivitas ekonomi yang tinggi. Kota Semarang, sebagai pusat aktivitas perkotaan dan industri di pesisir utara Pulau Jawa, menghadapi tantangan besar dalam menjaga kualitas

dan ketersediaan air tanah. Fenomena intrusi air laut terjadi ketika terjadi ketidakseimbangan tekanan hidrolik antara air laut dan air tanah, yang mendorong masuknya air asin ke dalam lapisan akuifer air tawar. Proses ini menyebabkan meningkatnya kadar klorida (Cl^-) dalam air tanah dan berdampak pada penurunan kualitas air bersih yang sangat dibutuhkan oleh masyarakat pesisir (Suhartono dkk., 2020)

Faktor utama yang mendorong intrusi air laut di Semarang antara lain adalah eksploitasi air tanah yang berlebihan untuk kebutuhan domestik dan industri, serta terjadinya penurunan muka tanah (*land subsidence*) akibat pengambilan air bawah tanah yang tidak terkendali (Sarah, Soebowo, dkk., 2013). Studi sebelumnya menunjukkan bahwa *land subsidence* dapat mengubah arah aliran air tanah dari darat ke laut menjadi sebaliknya, sehingga memperbesar potensi intrusi (Hatori dkk., 2008). Namun, di balik fenomena tersebut, terdapat aspek geologi bawah permukaan yang turut menentukan seberapa besar dan seberapa cepat air laut dapat menyusup ke daratan.

Wilayah Semarang memiliki sejarah geologi yang kompleks. Kota ini berada pada sistem geotektonik Cekungan Kendeng yang terbentuk akibat proses subduksi dan akresi sejak Kapur Akhir hingga Eosen (Sarah, Mulyono, dkk., 2013). Proses ini membentuk lapisan batuan dasar berupa kompleks batuan metamorf dan vulkanik yang relatif impermeabel, yang kemudian ditutupi oleh satuan batuan sedimen muda yang sangat permeabel dan membentuk akuifer utama. Struktur geologi aktif seperti sesar Jomblang–Jangli, Tinjomoyo I–II, dan lipatan antiklin-sinklin yang tersebar di wilayah ini juga menjadi jalur potensial bagi rembesan air laut, terutama jika rekahan batuan tidak tertutup sempurna (Hidayat, 2013).

Sebagian besar kajian sebelumnya masih berfokus pada aspek hidrologi dan sosial-ekonomi, seperti tingkat eksploitasi air tanah dan proyeksi kebutuhan air domestik, namun belum banyak yang mengaitkan parameter geologi bawah permukaan secara utuh ke dalam analisis spasial yang komprehensif. Padahal, informasi geologi seperti karakter litologi penyusun, kedalaman lapisan sedimen, hingga distribusi anomali gravitasi, dapat memberikan gambaran yang lebih akurat mengenai kerentanan akuifer terhadap intrusi (Ardaneswari dkk., 2016). Kajian spasial yang mampu mengintegrasikan berbagai parameter tersebut sangat dibutuhkan sebagai landasan ilmiah dalam perencanaan pengelolaan sumber daya air pesisir secara berkelanjutan.

Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengkaji keterkaitan antara sejarah geologi, struktur geologi bawah permukaan, litologi, dan kualitas air tanah, dalam rangka memahami dinamika intrusi air laut di wilayah Cekungan Semarang. Penelitian ini dilakukan melalui pendekatan deskriptif dan spasial berbasis data sekunder, yang mencakup peta geologi, peta struktur sesar, peta salinitas, dan data konsentrasi klorida. Analisis dilakukan dengan mengkaji tumpang tindih spasial (*overlay*) antar parameter dan visualisasi distribusi intrusi secara temporal. Meskipun belum dilakukan perhitungan indeks risiko berbasis skoring, pendekatan integratif ini diharapkan mampu memberikan gambaran awal yang komprehensif mengenai zona-zona yang paling rentan terhadap intrusi air laut di wilayah pesisir

Semarang. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi pijakan awal untuk mengembangkan sistem pendukung keputusan (DSS) berbasis spasial dalam pengelolaan sumber daya air tanah pesisir di masa depan.

Metodologi Studi

Penelitian ini menggunakan pendekatan deskriptif berbasis data sekunder untuk memahami keterkaitan antara kondisi geologi bawah permukaan dan potensi intrusi air laut di wilayah Cekungan Semarang. Data yang digunakan meliputi:

- a) Peta geologi dan struktur regional dari Badan Geologi (2015), yang mencakup informasi litologi penyusun, pola sesar, dan zonasi struktur bawah permukaan.
- b) Data kualitas air tanah, khususnya konsentrasi ion klorida (Cl^-) dan tingkat salinitas, yang diperoleh dari laporan Dinas ESDM Provinsi Jawa Tengah (2012, 2022) dan publikasi Ardaneswari et al. (2016).
- c) Data anomali gravitasi dari publikasi Wahyudi dan Priyono (2022), yang digunakan untuk menginterpretasi densitas batuan dan ketebalan lapisan sedimen.
- d) Data kependudukan dan pemakaian airtanah dari Stasiun Meteorologi Maritim Semarang (2012), yang mendukung analisis tekanan antropogenik terhadap sistem akuifer.

Seluruh data spasial diolah menggunakan perangkat lunak ArcGIS. Peta analog yang tersedia dalam bentuk cetak atau raster didigitasi dan direferensikan ke sistem koordinat UTM Zona 49S (WGS 84). Analisis spasial dilakukan secara deskriptif, dengan fokus pada visualisasi dan korelasi antar parameter berikut:

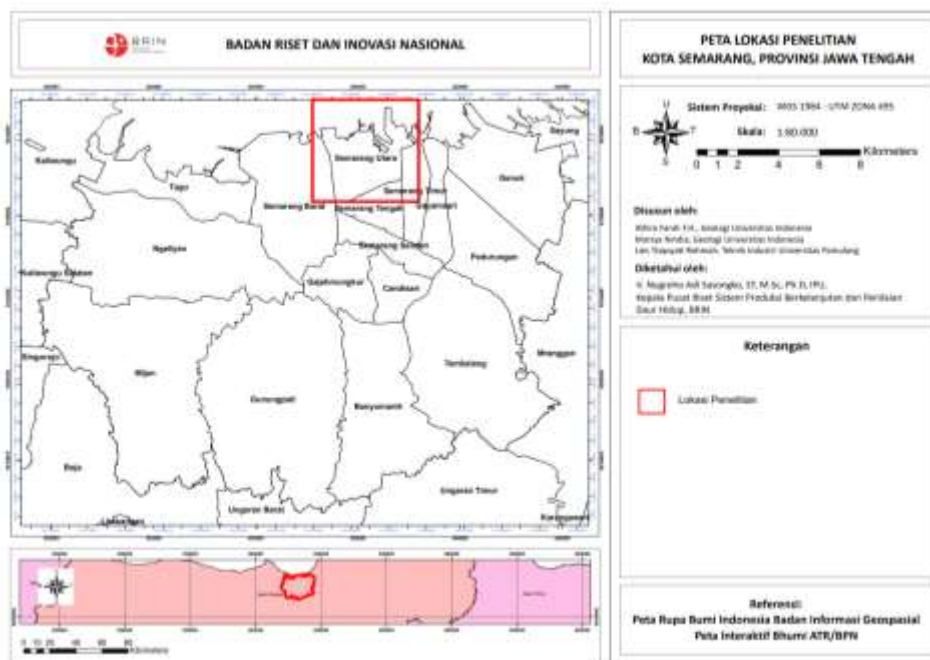
- a) Litologi dan struktur geologi digunakan untuk mengidentifikasi area batuan permeabel dan jalur sesar potensial sebagai media migrasi air laut ke daratan.
- b) Sebaran salinitas tahun 2016 dan 2022 dianalisis secara visual untuk mendeteksi perubahan spasial intrusi dalam rentang waktu enam tahun.
- c) Anomali gravitasi diinterpretasikan untuk menentukan zona sedimen longgar dan berpori tinggi yang rentan terhadap perembesan air asin.

Overlay antar parameter dilakukan menggunakan fitur *intersect* dan *layer styling* untuk memperlihatkan hubungan spasial antara zona permeabel, jalur sesar, dan area dengan kadar salinitas tinggi (>1000 mg/L). Validasi dilakukan secara kualitatif dengan membandingkan distribusi spasial salinitas dengan lokasi struktur aktif dan litologi dominan. Data historis konsentrasi klorida (1992–2011) digunakan untuk mendukung interpretasi temporal dan mendeteksi tren peningkatan salinitas di wilayah pesisir Semarang, tepatnya Semarang Utara. Hasil visualisasi digunakan untuk mengidentifikasi zona indikatif kerentanan tinggi terhadap intrusi air laut, yang selanjutnya dianalisis dalam konteks geologi dan tekanan antropogenik.

Hasil Studi dan Pembahasan

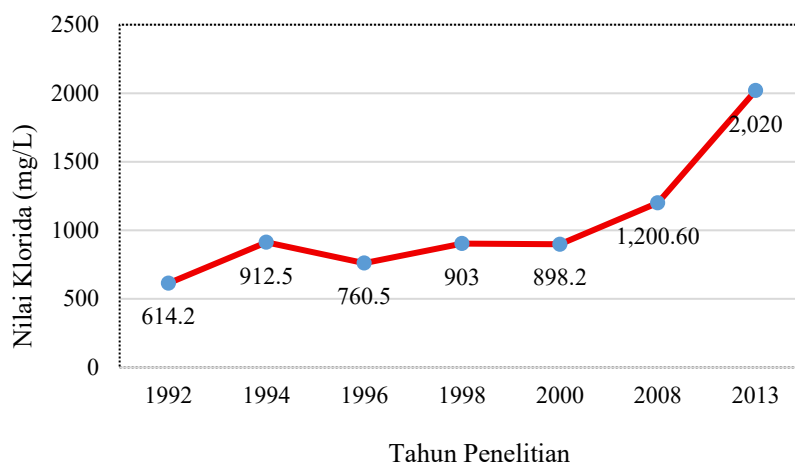
Tekanan Antropogenik terhadap Airtanah

Ketersediaan air tanah di wilayah pesisir Kota Semarang tepatnya di Semarang Utara yang terlihat pada Gambar 1 terus mengalami tekanan akibat pertumbuhan jumlah penduduk dan peningkatan kebutuhan air domestik. Berdasarkan data dari Stasiun Meteorologi Maritim Semarang (2012), terjadi peningkatan kebutuhan air dari 81,2 juta m³ pada tahun 1992 menjadi 107,1 juta m³ pada tahun 2011. Dari jumlah tersebut, kebutuhan air tanah meningkat dari 65,0 juta m³ menjadi 85,7 juta m³. Hal ini menunjukkan beban yang signifikan terhadap akuifer setempat.



(Sumber: Dinas ESDM Provinsi Jawa Tengah, 2012)

Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian Semarang Utara 2012



(Sumber: Dinas ESDM Provinsi Jawa Tengah, 2012)

Gambar 2. Grafik Tingkat Konsentrasi Klorida (Cl⁻) Tahun 1992 – 2013 Semarang Utara

Berdasarkan Gambar 2, grafik tingkat konsentrasi klorida yang diambil di Kecamatan Semarang Utara menunjukkan tren yang meningkat mengikuti periode waktu dengan kenaikan tertinggi terjadi di tahun 2013. Sejak tahun pertama dilakukannya penelitian hingga tiap tahunnya, didapatkan nilai konstanta korelasi peningkatan $R = 0,704$. Hal ini mengindikasikan bahwa terjadi intrusi air laut pada wilayah pesisir Semarang Utara sejak tahun 1992.

Tren nilai Cl^- pada titik observasi SP STMP Perkapalan menunjukkan kenaikan signifikan dari di bawah 800 mg/L (1992) menjadi di atas 2000 mg/L (sekitar 2011). Nilai ini melampaui ambang batas 250 mg/L untuk air minum (Permenkes 492/MENKES/PER/IV/2010), yang mengindikasikan bahwa sistem akuifer di kawasan pesisir telah mengalami kontaminasi berat oleh air laut.

Pertumbuhan jumlah penduduk di Kota Semarang telah memicu peningkatan kebutuhan air bersih yang signifikan dalam dua dekade terakhir. Berdasarkan data dari Stasiun Meteorologi Maritim Semarang (2012), jumlah penduduk meningkat dari sekitar 1,17 juta jiwa pada tahun 1992 menjadi 1,54 juta jiwa pada tahun 2011. Seiring dengan itu, kebutuhan air total meningkat dari 81,2 juta m^3 menjadi 107,1 juta m^3 , sedangkan kebutuhan air tanah naik dari 65,0 juta m^3 menjadi 85,7 juta m^3 (Tabel 1).

Peningkatan eksploitasi air tanah ini menyebabkan penurunan cadangan air tanah secara signifikan, yaitu dari 129,5 juta m^3 pada tahun 1992 menjadi hanya 125,7 juta m^3 pada tahun 2011. Meskipun potensi airtanah sempat meningkat pada tahun 2000, tren keseluruhan menunjukkan bahwa pengambilan air tanah melebihi laju pengisian ulang (*recharge*), yang mengindikasikan ketidakseimbangan neraca air tanah.

Hubungan Jumlah Penduduk dengan Pemakaian Air Tanah di Kota Semarang

Data pada Tabel 1 merupakan hubungan jumlah penduduk dengan pemakaian air tanah di Kota Semarang. Data tersebut memperlihatkan bahwa meskipun potensi air tanah sempat meningkat hingga 306 juta m^3 pada tahun 2000, namun pada tahun 2011 menurun drastis menjadi 211,4 juta m^3 . Lebih lanjut, cadangan air tanah juga menurun dari 233,4 juta m^3 menjadi hanya 125,7 juta m^3 (Stasiun Meteorologi Maritim Semarang, 2012). Penurunan ini mencerminkan tekanan eksploitasi air tanah yang tidak seimbang dengan laju *recharge* alami.

Kondisi ini berdampak langsung terhadap tekanan hidraulik dalam sistem akuifer. Ketika pengambilan air tanah melebihi kapasitas cadangan, terjadi penurunan muka air tanah dan menciptakan gradien tekanan yang memungkinkan air laut bergerak masuk ke dalam sistem akuifer. Gejala ini ditunjukkan dengan meningkatnya konsentrasi ion klorida dalam periode yang sama.

Dengan kata lain, peningkatan kebutuhan air tanah akibat pertumbuhan penduduk dan aktivitas perkotaan menjadi faktor pendorong utama terjadinya intrusi air laut (Alihar, 2018). Jika tidak diimbangi dengan strategi konservasi dan pengendalian

pengambilan air tanah, maka proses intrusi akan semakin dalam dan meluas ke wilayah daratan yang lebih jauh.

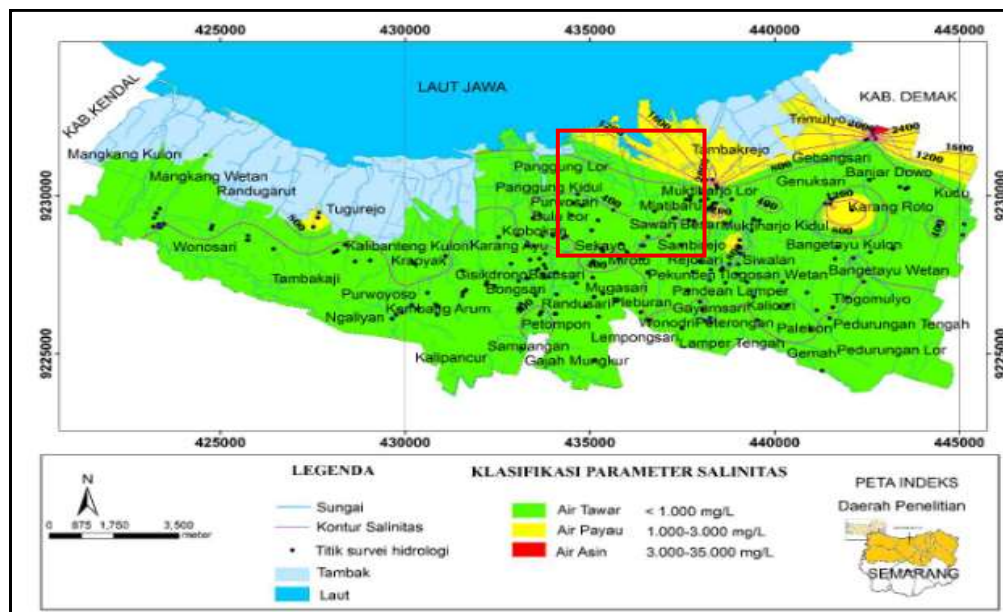
Tabel 1. Hubungan Jumlah Penduduk dengan Pemakaian Air Tanah di Kota Semarang

No.	Tahun	Jumlah Penduduk (Jiwa)	Kebutuhan Air (juta m ³)	Kebutuhan Air Tanah (juta m ³)	Potensi Air Tanah Kota Semarang (juta m ³)	Cadangan Air Tanah (juta m ³)
1.	1992	1.171.578	81,2	65,0	194,5	129,5
2.	1994	1.206.363	83,7	67,0	211,2	144,2
3.	1996	1.251.845	86,8	69,4	245,0	175,6
4.	1998	1.273.550	88,3	70,6	247,7	177,1
5.	2000	1.309.667	90,8	72,6	306,0	233,4
6.	2011	1.544.358	107,1	85,7	211,4	125,7

(Sumber: Stasiun Meteorologi Maritim Semarang, 2012)

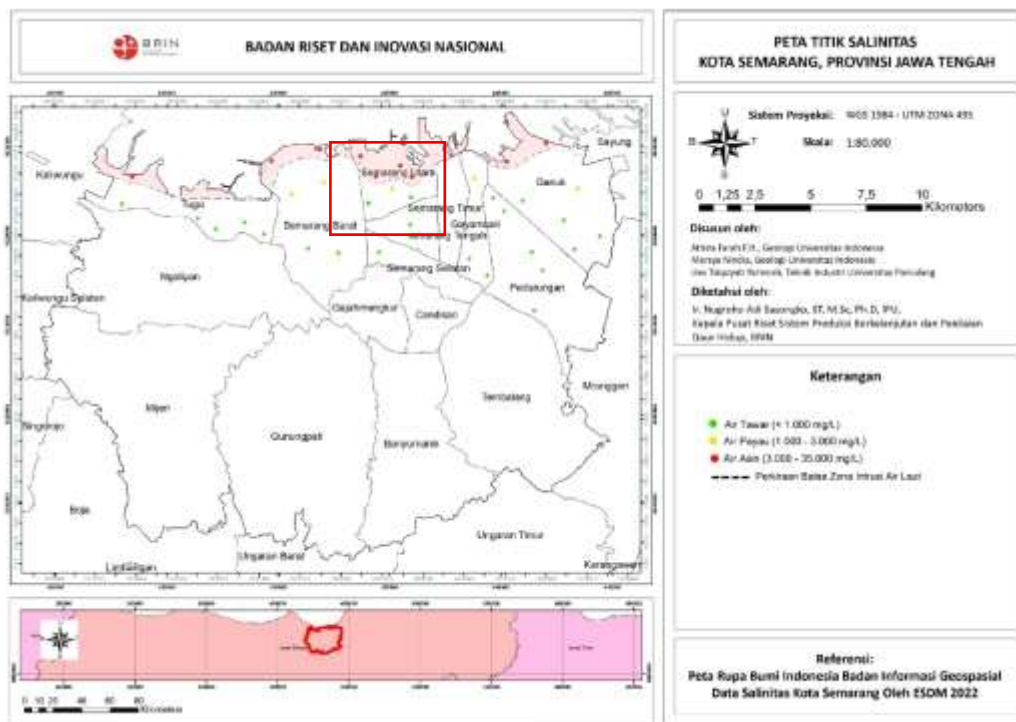
Pola Spasial dan Temporal Intrusi Air Laut

Hasil interpretasi terhadap peta sebaran salinitas tahun 2016 dan 2022 (Gambar 3 dan Gambar 4) menunjukkan bahwa proses intrusi air laut di wilayah pesisir Kota Semarang berlangsung secara progresif, baik secara spasial maupun temporal. Sejauh ini, intrusi air laut telah merambah hingga jarak 3-5 kilometer dari garis pantai di sepanjang pesisir utara Semarang, dengan beberapa indikator lapangan yang menegaskan perluasan ini.



(Sumber: Ardaneswari, dkk., 2016)

Gambar 3. Peta Sebaran Salinitas Semarang Utara 2016



(Sumber: Dinas ESDM Provinsi Jawa Tengah, 2022)
 Gambar 4. Peta Sebaran Salinitas Semarang Utara 2022

Dapat dilihat pada bagian yang telah ditandai bahwa adanya perubahan nilai salinitas dari tahun 2016 hingga 2022 dan adanya indikasi perluasan batas zona intrusi air laut ke arah daratan, dengan jalur pergerakan yang relatif sejajar dengan arah sesar dan pola morfologi wilayah pesisir. Sejauh ini, intrusi air laut telah menunjukkan pola perluasan yang signifikan dari wilayah utara ke selatan, dimana zona air asin (>1000 mg/L) yang semula terkonsentrasi di Tanjung Mas, Kemijen, dan utara Tambakrejo pada tahun 2016, kini telah meluas ke Bandarharjo dan Kaligawe utara pada tahun 2022. Indikator lapangan yang menegaskan perluasan ini terlihat dari perubahan zona transisi (500-1000 mg/L) yang bergerak ke selatan mencakup Sawah Besar dan bagian tengah Genuk, sementara zona air tawar (<math>< 500 \text{ mg/L}</math>) semakin menyempit hanya tersisa di Genuk selatan. Temuan ini diperkuat oleh data monitoring konsentrasi klorida di Semarang Utara yang menunjukkan peningkatan dari di bawah 800 mg/L pada tahun 1992 menjadi di atas 2000 mg/L pada tahun 2011, melampaui ambang batas 250 mg/L untuk air minum, yang mengkonfirmasi bahwa sistem akuifer di kawasan pesisir telah mengalami kontaminasi berat oleh air laut.

Tabel 2. Perubahan Zona Sebaran Salinitas Airtanah Berdasarkan Interpretasi Peta Tahun 2016 dan 2022

Zona Salinitas	Tahun 2016 – Wilayah Dominan	Tahun 2022 – Wilayah Dominan	Keterangan Perubahan
< 500 mg/L (air tawar)	Pedurungan, sebagian Genuk	Menyempit, hanya tersisa di Genuk selatan	Zona tawar menyempit
500–1000 mg/L (transisi)	Kaligawe, Tambakrejo bagian selatan	Meluas ke Sawah Besar dan bagian tengah Genuk	Zona transisi bergerak ke selatan
> 1000 mg/L (air asin)	Tanjung Mas, Kemijen, utara Tambakrejo	Meluas ke Bandarharjo, Kaligawe utara	Zona intrusi berat bertambah luas

(Sumber: Ardaneswari dkk., 2016; Dinas ESDM Provinsi Jawa Tengah, 2022)

Lokasi yang paling terdampak berada di area yang secara geologi merupakan bagian dari Cekungan Semarang, yang tersusun atas endapan aluvial dan batupasir lempungan berumur Kuartar (Badan Geologi, 2017). Litologi ini memiliki porositas dan permeabilitas tinggi, yang memungkinkan rembesan air laut berlangsung secara lateral dalam jarak yang cukup jauh (Agung Wahyudi dkk., 2024).

Keberadaan struktur geologi aktif, seperti sesar Jomblang–Jangli dan sesar Kaligawe, yang memotong zona akuifer di bagian utara cekungan, turut mempercepat proses migrasi air asin ke arah selatan (Wardhana dkk., 2014). Sesar ini berperan sebagai jalur rembesan vertikal yang menghubungkan lapisan permukaan dengan sistem akuifer dalam, terutama di wilayah yang mengalami penurunan muka tanah dan tekanan air tanah yang rendah akibat eksploitasi (Suhartono dkk., 2012).

Pada umumnya, intrusi air laut tidak terjadi secara acak, melainkan mengikuti arah struktur geologi regional dan batas litologi permeabel dalam cekungan sedimen Semarang (Rahmawati & Marfai, 2013). Dengan kata lain, cekungan itu sendiri berfungsi sebagai medium yang rentan terhadap akumulasi intrusi, terutama pada bagian tengah dan utara yang berbatasan langsung dengan Laut Jawa dan memiliki tekanan hidrolik negatif akibat pengambilan air tanah berlebihan.

Perluasan intrusi air laut dari tahun 2016 ke 2022 menunjukkan adanya hubungan spasial yang kuat antara kualitas air tanah dengan kondisi geologi bawah permukaan. Berdasarkan peta sebaran salinitas, arah pergerakan intrusi cenderung mengikuti orientasi struktur geologi regional, seperti sesar Jomblang–Jangli dan sesar Kaligawe, yang berperan sebagai jalur rembesan vertikal air laut menuju sistem akuifer dalam. Struktur geologi ini memotong zona akuifer di bagian utara Cekungan Semarang, yang secara litologis tersusun atas endapan aluvial dan batupasir lempungan berumur Kuartar, dengan karakteristik porositas dan

permeabilitas yang tinggi (Suhartono dkk., 2013). Litologi tersebut memungkinkan pergerakan lateral air laut dalam jarak yang cukup jauh, terutama di wilayah yang mengalami penurunan muka tanah dan *over*-eksploitasi air tanah, sehingga memperbesar potensi migrasi air asin ke arah selatan. Hasil penelitian terbaru juga memperkuat bahwa pola intrusi air laut tidak bersifat acak, melainkan terkontrol oleh batas-batas litologi permeabel dan arah struktur tektonik lokal (Wardhana dkk., 2014). Dengan demikian, karakteristik geologi cekungan, keberadaan struktur aktif, serta perubahan tekanan hidrolik akibat aktivitas manusia, secara kolektif menentukan pola dan kecepatan sebaran salinitas dari waktu ke waktu. Kondisi ini menegaskan pentingnya integrasi pemantauan geologi dan hidrogeologi dalam sistem peringatan dini serta pengelolaan air tanah yang berkelanjutan. Tanpa intervensi yang tepat, wilayah-wilayah yang saat ini masih tergolong zona transisi (500–1000 mg/L) berpotensi berubah menjadi zona intrusi berat dalam beberapa tahun ke depan.

Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan

Penelitian ini menunjukkan bahwa intrusi air laut di wilayah pesisir Kota Semarang merupakan hasil interaksi antara tekanan antropogenik dan kondisi geologi bawah permukaan. Sistem akuifer yang berkembang dalam Cekungan Semarang—yang tersusun atas litologi sedimen muda berpori tinggi—telah menjadi media pergerakan air laut secara lateral dari zona pesisir menuju daratan. Peningkatan konsentrasi klorida dari tahun 1992 hingga 2011 serta perluasan zona salinitas tinggi antara tahun 2016 dan 2022 menegaskan bahwa intrusi berlangsung secara progresif. Pendekatan spasial deskriptif berbasis data sekunder berhasil memberikan gambaran awal tentang distribusi kerentanan wilayah terhadap intrusi air laut.

Saran

Berdasarkan temuan tersebut, disarankan agar pemantauan kualitas air tanah di wilayah pesisir Semarang dilakukan secara berkala, khususnya terhadap parameter salinitas dan kadar klorida, guna mendeteksi secara dini pergerakan intrusi yang bersifat dinamis. Pemerintah daerah juga perlu menetapkan kebijakan perlindungan terhadap zona resapan (*recharge*) dan mengatur penggunaan lahan secara ketat di daerah tangkapan air untuk menjaga keseimbangan antara ekstraksi dan pengisian ulang airtanah. Selain itu, pengembangan sistem pendukung keputusan (*Decision Support System*) berbasis spasial sangat penting untuk mengintegrasikan data geologi, hidrologi, dan sosial-ekonomi dalam mendukung tata kelola air tanah pesisir yang berkelanjutan. Studi lanjutan dengan pendekatan kuantitatif dan pemodelan numerik juga direkomendasikan untuk memperkuat hasil interpretasi dan memberikan prediksi yang lebih akurat terkait arah serta laju intrusi air laut di masa mendatang.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah berkontribusi dalam penyusunan penelitian ini. Ucapan terima kasih disampaikan kepada Badan Informasi Geospasial (BIG), Badan Pusat Statistik (BPS), dan Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) atas penyediaan data spasial dan data sekunder yang digunakan dalam analisis. Penulis juga menyampaikan apresiasi kepada Bapak Ir. Nugroho Adi Sasongko, ST, M.Sc, Ph.D, IPU sebagai pembimbing dari Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) atas arahan dan masukan selama proses penulisan berlangsung. Penelitian ini tidak didanai oleh sumber pendanaan eksternal.

Daftar Referensi

- Agung Wahyudi, P., Firman, A., Rabbani, N., Abdul Malik Annasir, M., Kumalasari, D., & Zaenul Asikin, R. (2024).). Zonasi Jenis Material Dan Potensi Amblesan Lahan Sebagai Instrumen Mitigasi Tata Ruang Wilayah Di Kota Semarang. *Seminar Teknologi Majalengka (STIMA)*. <https://doi.org/10.31949/stima.v8i0.1234>
- Alihar, F. (2018). Penduduk Dan Akses Air Bersih Di Kota Semarang (Population And Access To Clean Water In Semarang City). *Jurnal Kependudukan Indonesia*, Vol. 13 (Juni).
- Ardaneswari, T. A., Yulianto, T., dan Putranto, T. T. (2016). Analisis Intrusi Air Laut Menggunakan Data Resistivitas Dan Geokimia Airtanah Di Dataran Aluvial Kota Semarang. *Youngster Physics Journal*, Vol. 5: 4.
- Awalia, N. (2021). Manajemen Risiko Bencana Hidroklimatologi untuk Ketahanan Kota di Semarang. *Jurnal Biosains Pascasarjana*, 23(1), 6. <https://doi.org/10.20473/jbp.v23i1.2021.6-15>
- Badan Geologi. (2017). Peta geologi lembar Semarang dan Kendal, Jawa Tengah (Skala 1:100.000). Bandung: Pusat Survei Geologi, Kementerian ESDM.
- Dinas ESDM Provinsi Jawa Tengah. (2012). Laporan evaluasi kualitas air tanah dan potensi intrusi air laut di CAT Semarang–Demak. Semarang: ESDM Jateng.
- Dinas ESDM Provinsi Jawa Tengah. (2022). Peta sebaran salinitas dan kadar klorida air tanah Kota Semarang. Semarang: ESDM Jateng.
- Hatori, C. A., Hendrayana, H., & Putra, E. (2008). Studi Kerentanan Airtanah Terhadap Intrusi Airlaut Di Kota Semarang, Jawa Tengah. *Program Pascasarjana Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada*.
- Hidayat, E. (2013). Identifikasi Sesar Aktif Di Sepanjang Jalur Kali Garang, Semarang. *JSD Geologi*, 23(1).
- Pryambodo, D. G., Prihantono, J., & Supriyadi. (2016). Zonasi intrusi air asin dengan kualitas fisik air tanah di kota semarang. *Jurnal kelautan nasional*, Vol. 11(2). <https://doi.org/10.15578/jkn.v11i2.6110>
- Rahmawati, N., & Marfai, M. A. (2013). Salinity Pattern in Semarang Coastal City: An Overview. *Indonesian Journal of Geology*, Vol. 8(2). <https://doi.org/10.17014/ijog.v8i2.160>

- Sarah, D., Mulyono, A., & Satriyo, N. A. (2013). *Model Geologi Teknik Daerah Amblesan Tanah Kota Semarang Bagian Barat*. <https://www.researchgate.net/publication/283347494>
- Suhartono, E., Purwanto, & Suripin. (2013). Faktor penyebab intrusi air laut terhadap air tanah pada akuifer dalam di kota semarang. *Wahana teknik sipil*, Vol. 18 No.2.
- Suhartono, E., & Suripin, D. (2013). Model Intrusi Air Laut Terhadap Air Tanah pada Akuifer di Kota Semarang. *Prosiding Seminar Nasional Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan*.
- Stasiun Meteorologi Maritim Semarang. (2012). Data kebutuhan dan potensi airtanah Kota Semarang tahun 1992–2011. Semarang: BMKG Maritim.
- Wardhana, D. D., Harjono, H., & Sudaryanto, S. (2014). Struktur Bawah Permukaan Kota Semarang Berdasarkan Data Gayaberat. *Jurnal Riset Geologi Dan Pertambangan*, 24(1), 53. <https://doi.org/10.14203/risetgeotam2014.v24.81>

[Halaman ini sengaja dibiarkan kosong/*This page is intentionally left blank*]