

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Penelitian

Air tanah, sebagaimana didefinisikan dalam Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 17 Tahun 2019 tentang Sumber Daya Air, adalah air yang terdapat dalam lapisan tanah atau batuan di bawah permukaan tanah. Secara umum, air tanah diklasifikasikan menjadi dua tipe berdasarkan asalnya, yaitu air tanah dangkal (freatik) dan air tanah dalam (artesis). Air tanah freatik memiliki muka air tanah yang bebas (*unconfined*) dan sangat responsif terhadap masukan serta keluaran air, sehingga fluktuasi elevasinya relatif besar. Sementara itu, air tanah dalam terdapat pada akuifer tertekan (*confined aquifer*) yang diapit oleh lapisan batuan kedap air (*impermeable*). Akses air tanah dalam memerlukan pengeboran sumur dalam. Sumber utama air tanah dalam berasal dari infiltrasi air hujan yang membutuhkan waktu sangat lama untuk mencapai akuifer dalam (Todd & Mays, 2005).

Ketersediaan air tanah dalam, khususnya di Kota Semarang, berada di bawah tekanan akibat eksploitasi berlebihan yang dipicu oleh tingginya kebutuhan air untuk domestik, industri, dan komersial. Pada tahun 2014, dengan jumlah penduduk 1,48 juta jiwa, estimasi eksploitasi air tanah mencapai 64 juta m³ per tahun, dengan asumsi 80% kebutuhan air bersih dipenuhi dari sumber ini (Susanto, Rusdianto, & Sawir, 2014). Tren yang mengkhawatirkan ini terus berlanjut. Pada tahun 2023, populasi Kota Semarang telah tumbuh menjadi 1,69 juta jiwa (Badan Pusat Statistik Kota Semarang, 2024). Apabila perkiraan kebutuhan air bersih 54,5 m³ per kapita per tahun, volume eksploitasi air tanah diperkirakan melonjak menjadi 73 juta m³ per tahun. Eksploitasi yang melebihi kapasitas akuifer ini telah menyebabkan penurunan elevasi muka air tanah yang signifikan (Putra & Indrawan, 2018), sehingga prediksi bahwa muka air tanah dalam akan mencapai elevasi yang sangat rendah di masa depan menjadi sangat relevan (Marfai & King, 2008).

Distribusi spasial penggunaan lahan memainkan peran krusial dalam variasi elevasi muka air tanah ini. Kawasan dengan dominasi industri dan permukiman padat cenderung mengalami penurunan elevasi yang lebih cepat akibat intensitas ekstraksi yang tinggi. Sebaliknya, area dengan tutupan vegetasi yang baik dapat berkontribusi pada stabilnya muka air tanah melalui proses resapan (Sophocleous, 2002). Kondisi akuifer ini dapat dipantau melalui pengukuran elevasi muka air tanah, sebagaimana diatur dalam Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan No. P.15 Tahun 2017, baik secara otomatis menggunakan piezometer maupun manual. Elevasi muka air tanah yang terus menurun merupakan indikator kritis dari tekanan pada akuifer akibat ketidakseimbangan antara ekstraksi dan pengisian ulang (*recharge*) (Alley, Reilly, & Franke, 1999) (Fetter, 2001) (Jodar, et al., 2024), yang berpotensi mengarah pada kelangkaan air tanah jangka panjang (Karki, Srivastava, Kalin, Mitra, & Singh, 2021).

Oleh karena itu, kajian mengenai elevasi eksisting dan prediksi elevasi muka air tanah dalam kaitannya dengan distribusi spasial penggunaan lahan menjadi sangat mendesak. Pemodelan prediktif merupakan alat yang esensial dalam kajian ini. Di antara berbagai pendekatan pemodelan, metode berbasis *machine learning* seperti *Adaptive Neuro Fuzzy Inference System* (ANFIS) telah terbukti memiliki akurasi dan fleksibilitas yang tinggi (Seifi, Ehteram, Singh, & Mosavi, 2020) (Navale & Mhaske, 2023). ANFIS mampu menangkap pola kompleks dan hubungan non-linier dalam data, sehingga sangat sesuai untuk memprediksi dinamika air tanah (Tao, et al., 2022). Berdasarkan pertimbangan inilah, penelitian ini menggunakan analisis ANFIS untuk mengkaji elevasi eksisting dan memprediksi elevasi muka air tanah dalam di Kota Semarang, guna memberikan dasar ilmiah bagi perencanaan mitigasi dan pengelolaan sumber daya air tanah yang berkelanjutan.

1.2. Batasan Masalah

Pembatasan masalah pada suatu penelitian penting dilakukan dalam menjaga fokus dan arah pembahasan. Berdasarkan pertimbangan tersebut maka batasan pembahasan pada penelitian ini adalah tentang pengaruh tata guna lahan terhadap Elevasi Muka Air Tanah Dalam di Sumur Pantau Kota Semarang. Tata guna lahan

digunakan sebagai pengelompok titik-titik Sumur Pantau di Kota Semarang. Pembahasan dilakukan pada tiap kelompok tata guna lahan.

1.3. Rumusan Masalah Penelitian

Permasalahan dalam kajian ini dirumuskan dalam bentuk pertanyaan penelitian (*research questions*) sebagai berikut:

1. Bagaimana elevasi muka air tanah yang sesuai dengan distribusi spasial jenis penggunaan lahan di Kota Semarang, Provinsi Jawa Tengah?
2. Bagaimana kondisi elevasi muka air tanah dalam yang akan terjadi pada periode 5 sampai 20 tahun mendatang di Kota Semarang, Provinsi Jawa Tengah?
3. Bagaimana peran masyarakat dalam mengurangi penurunan elevasi muka air tanah dalam yang terjadi di Kota Semarang, Provinsi Jawa Tengah?

1.4. Tujuan Penelitian

Berdasarkan latar belakang dan rumusan masalah yang telah diuraikan, maka tujuan penulisan penelitian dengan judul ‘Kajian Eksisting dan Prediksi Elevasi Muka Air Tanah Dalam Berdasarkan Analisis ANFIS (*Adaptive Neuro Fuzzy Inference System*) di Kota Semarang’ adalah sebagai berikut:

1. Mengkaji elevasi muka air tanah dalam eksisting sesuai dengan distribusi spasial jenis penggunaan lahan berdasarkan analisis statistik.
2. Mengkaji prediksi elevasi muka air tanah dalam pada periode 5 tahunan hingga 20 tahun mendatang sesuai dengan distribusi spasial jenis penggunaan lahan menggunakan analisis ANFIS (*Adaptive Neuro Fuzzy Inference System*).
3. Mengkaji peran masyarakat dalam mengurangi laju penurunan elevasi muka air tanah dalam yang terjadi di Kota Semarang berdasarkan pengamatan lapangan.

1.5. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian dengan judul ‘Kajian Eksisting dan Prediksi Elevasi Muka Air Tanah Dalam Berdasarkan Analisis ANFIS (*Adaptive Neuro Fuzzy Inference System*) di Kota Semarang’ adalah sebagai berikut:

1. Kajian ini diharapkan dapat menambah wawasan dan pemahaman akademik kepada peneliti, pemerhati, dan pengelola air tanah dalam sebagai upaya perencanaan mitigasi, pemanfaatan, dan pengendalian serta pengelolaan sumber daya air tanah dalam yang berkelanjutan.
2. Kajian juga ini diharapkan dapat menjadi data dan informasi pendukung bagi pengelola air tanah dalam sebagai upaya perencanaan dan pengelolaan sumber daya air tanah dalam yang berkelanjutan.

1.6. Orisinalitas Penelitian

Penelitian yang berkaitan dengan penyusunan ‘Kajian Eksisting dan Prediksi Elevasi Muka Air Tanah Dalam Berdasarkan Analisis ANFIS (*Adaptive Neuro Fuzzy Inference System*) di Kota Semarang’ ditampilkan pada tabel 1.1.

Tabel 1. 1. Penelitian terdahulu

Judul (Peneliti, Tahun)	Penelitian	Perbedaan
<i>Prediction of Groundwater Level in Indonesia Tropical Peatland Forest Plantation using Machine Learning</i> (Yonekura, et al., 2025)	Penelitian menggunakan <i>machine learning</i> LSTM, RF, SVM dan XGBoost untuk memprediksi elevasi muka air tanah di lahan gambut tropis, Kalimantan Barat . Data berbentuk harian dari periode Juni 2018-November 2020. Model memprediksi nilai elevasi muka air tanah dan perubahan elevasi muka air tanah. Validitas model diuji dengan parameter RMSE.	Penelitian menggunakan <i>machine learning</i> ANFIS, di lokasi berbeda yaitu Kota Semarang , dengan periode data berbeda Januari 2019-November 2023. Model memprediksi nilai elevasi muka air tanah dalam di masa mendatang. Validitas model diuji dengan parameter MAPE dan SMAPE.
<i>Enhancing Groundwater Level Prediction Accuracy Using Interpolation Techniques in Deep Learning Models</i>	Penelitian menggunakan <i>deep learning</i> DNN, CNN untuk memprediksi elevasi muka air tanah di Akuifer Dataran Azarshahr pada periode 2018-2021. Penelitian dilakukan untuk memprediksi nilai di tempat yang tidak dilakukan pengambilan data. Interpolasi data dengan metode Kriging, Support Vector Machine (SVM), dan M5P	Penelitian menggunakan <i>machine learning</i> ANFIS, di lokasi berbeda yaitu Kota Semarang , dengan periode data berbeda Januari 2019-November 2023. Model memprediksi nilai elevasi muka air tanah dalam di masa mendatang. Validitas model

Judul (Peneliti, Tahun)	Penelitian	Perbedaan
(Abdi, Ali, Santos, Olusola, & Ghorbani, 2024)	digunakan untuk pengisian data hilang. Validitas model diuji dengan parameter korelasi (R), NMSE, RMSE, dan koefisien efisiensi (NS).	diuji dengan parameter MAPE dan SMAPE.
<i>Prediction of Ground Water Level in Rajasthan State Using Machine Learning</i> (Srivastava, Shukla, & Jemni, 2023)	Penelitian menggunakan model <i>Decision Tree Regression</i> , KNN, SVR, Gaussian, KNN+RF, dan SVR+RF untuk memprediksi elevasi muka air tanah di Rajasthan, Ngeara Bagian India . Data didapatkan pada periode 2020. Model memprediksi elevasi muka air tanah. Validitas model kemudian dievaluasi dengan parameter MAE, MSE, RMSE, dan R^2 .	Penelitian menggunakan <i>machine learning</i> ANFIS, di lokasi berbeda yaitu Kota Semarang , dengan periode data berbeda Januari 2019-November 2023. Model memprediksi nilai elevasi muka air tanah dalam di masa mendatang. Validitas model diuji dengan parameter MAPE dan SMAPE.
<i>Artificial Neural Network (ANN) and Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS) model for Forecasting Groundwater Level in the Pravara River Basin</i> (Navale & Mhaske, 2023)	Penelitian menggunakan <i>machine learning</i> untuk memprediksi elevasi muka air tanah di 7 titik lokasi DAS Pravara India , dengan data pada periode 2000-2018. Model yang digunakan ANFIS dan ANN. Validitas model diuji dengan parameter korelasi (R), NMSE, RMSE, dan koefisien efisiensi (NS). Peta interpolasi spasial dibuat menggunakan metode Inverse Distance Weighting (IDW).	Penelitian menggunakan <i>machine learning</i> ANFIS, di lokasi berbeda yaitu Kota Semarang , dengan periode data berbeda Januari 2019-November 2023. Model memprediksi nilai elevasi muka air tanah dalam di masa mendatang di 4 titik. Validitas model diuji dengan parameter MAPE dan SMAPE. Peta Interpolasi spasial menggunakan metode yang sama.
<i>Boosted artificial intelligence model using improved alpha-guided grey</i>	Penelitian menggunakan model ANFIS yang dioptimalisasi dengan IA-GWO untuk memprediksi elevasi muka air tanah di tiga titik lokasi di bagian barat	Penelitian menggunakan <i>machine learning</i> ANFIS, di lokasi berbeda yaitu Kota Semarang , dengan periode

Judul (Peneliti, Tahun)	Penelitian	Perbedaan
<i>wolf for groundwater level prediction: Comparative study and insight for federated learning technology</i> (Cui, et al., 2023)	laut Banglades , dengan data pada periode 1981-2011. Hasil pemodelan dibandingkan dengan model ANFIS, ANN, dan hybrid dengan PSO. Validitas model diuji dengan parameter RMSE dan KGE	data berbeda Januari 2019-November 2023. Model memprediksi nilai elevasi muka air tanah dalam di masa mendatang. Validitas model diuji dengan parameter MAPE dan SMAPE.
<i>Groundwater Level Simulation Using Soft Computing Methods with Emphasis on Major Meteorological Components</i> (Samani, Vadiati, Azizi, Zamani, & Kisi, 2022)	Penelitian ini menggunakan model ANN, FL, ANFIS, GMDH, dan LSSVM untuk memprediksi elevasi muka air tanah dalam 1 hingga 3 bulan ke depan di Akuifer Qazvin, Iran . Data yang digunakan dalam periode 2005-2020. Validitas model diuji dengan parameter R, R ² , RMSE, MAE, dan NS.	Penelitian menggunakan <i>machine learning</i> ANFIS, di lokasi berbeda yaitu Kota Semarang , dengan periode data berbeda Januari 2019-November 2023. Model memprediksi nilai elevasi muka air tanah dalam di 5, 10, 15, 20 tahun mendatang. Validitas model diuji dengan parameter MAPE dan SMAPE.
<i>How does a combination of numerical modeling, clustering, artificial intelligence, and evolutionary algorithms perform to predict regional groundwater levels?</i> (Kayhomayoon, et al., 2022)	Penelitian ini menggunakan simulasi Akuifer Dehgolan dalam periode Januari 2015-Januari 2017. Data dua belas variabel diambil dari simulasi MODFLOW. Tujuh dari dua belas variabel digunakan dalam clustering. Clustering menghasilkan tujuh kluster (a-b), yang kemudian disimulasikan menggunakan model ANN dan ANFIS yang dioptimalisasi dengan HHO, WOA, dan PSO. Validitas model diuji dengan parameter RMSE, MAPE, NSE, R ² , dan MAE.	Penelitian menggunakan <i>machine learning</i> ANFIS, di lokasi berbeda yaitu Kota Semarang , dengan periode data berbeda Januari 2019-November 2023. Model memprediksi nilai elevasi muka air tanah dalam di masa mendatang. Validitas model diuji dengan parameter MAPE dan SMAPE.

Judul (Peneliti, Tahun)	Penelitian	Perbedaan
<i>Modeling and Uncertainty Analysis of Groundwater Level Using Six Evolutionary Optimization Algorithms Hybridized with ANFIS, SVM, and ANN</i> (Seifi, Ehteram, Singh, & Mosavi, 2020)	Penelitian ini menggunakan model ANFIS, ANN, SVM yang dioptimalisasi dengan GOA, CSO, KA, WA, PSO, dan GA dalam memprediksi elevasi muka air tanah di Dataran Ardebil, Iran dalam periode Januari 2000-September 2012 di tiga titik lokasi. Validitas model diuji dengan parameter R^2 , RMSE, MAE, MSE, dan PBIAS. Analisis ketidakpastian dilakukan dengan parameter p dan d.	Penelitian menggunakan <i>machine learning</i> ANFIS, di lokasi berbeda yaitu Kota Semarang , dengan periode data berbeda Januari 2019-November 2023. Model memprediksi nilai elevasi muka air tanah dalam di masa mendatang. Validitas model diuji dengan parameter MAPE dan SMAPE.

SEKOLAH PASCASARJANA